

An aerial photograph of a sugarcane plantation in Colombia. The image shows a vast expanse of green sugarcane fields, divided into rectangular plots by dirt roads. A river flows through the landscape, and in the background, there are rolling hills and mountains under a clear sky.

**El cultivo de
la Caña en
la zona
Azucarera
de Colombia**

El Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA) es una entidad privada sin ánimo de lucro de carácter científico y tecnológico, fundada en 1977 por iniciativa de la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia (ASOCAÑA).

Su misión es contribuir al desarrollo del sector azucarero mediante la investigación, evaluación y divulgación de tecnologías, y el suministro de servicios. De tal forma que éste sea eficiente y competitivo y contribuya al mejoramiento socioeconómico de la población y al desarrollo sostenible de la región.

CENICAÑA es financiado por los ingenios azucareros y los cultivadores de caña del valle del río Cauca a través de aportes directos. Las investigaciones las realiza en la estación experimental San Antonio, localizada en el municipio de Florida, Valle del Cauca; en los ingenios de la región y a través de convenios colaborativos con entidades de los sectores público y privado.

Para el cumplimiento de su misión CENICAÑA tiene Programas de Investigación en Variedades, Agronomía y Fábrica y los servicios de análisis Económico y Estadístico, Información y Documentación, y Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología. Cuenta, además, con áreas Administrativa y de Superintendencia, encargadas del apoyo logístico para el establecimiento y desarrollo de las investigaciones.

La información y las conclusiones contenidas en esta publicación no reflejan necesariamente el punto de vista de las entidades que en ella se mencionan.

ISBN 958-33-0283-X

El Cultivo de la Caña en la Zona Azucarera de Colombia

Editores:

Clímaco Cassalett Dávila
Jorge Torres Aguas
Camilo Isaacs Echeverri

CENICAÑA Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CENICAÑA

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia
Apartado Aéreo 9138
Teléfono: 6648025
Fax: 641936
Télex: 51136 Azuca Co.
Cali, Valle del Cauca, Colombia

ISBN 958-33-0283-X
Tiraje 3000 ejemplares
Impreso en Colombia
Agosto de 1995

CENICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). 1995. El Cultivo de la Caña en la Zona Azucarera de Colombia. Cassalet, C.; Torres, J.; e Isaacs, C. (eds.). Cali, Colombia. 412 p.

Solera de la Caña de Azúcar

Oscar Gerardo Ramos*

La mejor tradición indica que Sebastián de Belalcázar trajo la caña de azúcar al Valle del Cauca en 1538 o en 1541, sembrándola en su Estancia de Yumbo. Desde allí se esparció por las mercedes de tierras que los capitanes conquistadores habían recibido en la vega izquierda del río Cauca.

Hacia 1560 se fundaron tres ingenios a orillas del río Amaime en la otra banda del río Cauca: el de San Jerónimo, perteneciente a Gregorio de Astigarreta, y los otros dos, uno a Andrés y otro a Lázaro Cobo. Hubo también un ingenio en Caloto, propiedad de Francisco de Belalcázar. Los hermanos Cobo exportaron azúcar y miel a Panamá en 1588. Más tarde, en 1593, Diego Ordoñez de Lara exportó 180 arrobas, por valor de dos pesos sencillos la arroba.

Los primeros cañales no eran muy extensos, pues eran pocos los vecindarios. Tampoco se molía a diario por ser corta la demanda de azúcar y miel. Los trapiches eran rudimentarios con dos mazas de madera, algunos horizontales movidos manualmente por manubrio de aspas y otros verticales accionados por bestia. Sólo mucho después, al aumentar la demanda, se llegó al molino vertical de tres cilindros.

En una o en varias pailas se cocinaba la miel. Sólo a finales del siglo XVI aparecen los maestros de azúcar. El proceso que ellos dirigían consistía en clarificar el jugo con floculantes naturales y evaporar el agua poco a poco en calderos colocados en línea. El jarabe ya condensado podía alcanzar punto de azúcar o de panela. La meladura para azúcar se vaciaba en hormas cónicas de arcilla cocida tapadas por encima con un barro especial muy fino sobre el que se echaba poca agua de cuando en cuando. De esta manera, y por gravitación y con la acción del agua, lentamente escurrían hacia el fondo los azúcares no cristalizables que, de tiempo en tiempo, se extraían por el hueco situado en la boca de abajo de la horma. Después de varias semanas de purgación se vaciaban los panes ya endurecidos y se colocaban al sol para mayor blanqueo.

El proceso de la panela era más simple y rápido. En pocas horas se llevaba todo el jarabe hasta la condensación de todos los azúcares, cuidando que no se requemara, y finalmente esa miel, rubia y prieta, se echaba en pequeños moldes donde al enfriarse terminaba por solidificarse.

El aporte del terruño a las artes de la dulcería fue la variadísima cantidad de frutas, piña, guanábana, guayaba y otras, y también féculas, con todas las cuales se amestizó el azúcar en bebidas, conservas, mermeladas, dulces y en horneado de pasteles, bizcochos y galletas. Conformaban una riquísima culinaria vernácula.

* Oscar Gerardo Ramos es Secretario General de la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia (ASOCAÑA), Apartado Aéreo 2971, Cali, Colombia.

Para finales del siglo XVII seguían funcionando los ingenios de Amaime y Caloto y se habían fundado otros en Candelaria, El Palmar, Aguaclara, Sonso, Buga, Tuluá y por la banda izquierda en el Hato de Lemos, Vijes, Yumbo, Cañasgordas y Jamundí. No eran grandes las plantaciones, pero se planificaban tiempos de siembra y cosecha. En el ingenio de Candelaria había bueyes que jalaban carretas con caña y caballos trapicheros. Se aprovechaba el agua no sólo como fuerza motriz sino para chambas de riego. Había talleres. La cultura cañamelera tenía carácter industrial entendido como la incorporación ordenada de saberes agrológicos y técnicos conducentes a transformar productos y a obtener resultados económicos. Lo mismo, en mayor o menor escala, debía cumplirse en otras molinerías.

Toda hacienda poseía ganaderías, porquerizas, sembraduras de pancomer, huerta de legumbres y yerbas medicinales y solar con árboles frutales. Los bosques proveían madera para la construcción de canoas, muebles, bateas y leña para las cocinas y para la hornilla del trapiche. Pero el prestigio de la comarca vallecaucana era más ganadero que azucarero. Se llevaban a Quito partidas hasta de cuatro mil novillos. Y también marranos a Remedios, Zaragoza y Cáceres, tierras de minería en la lejana Antioquia.

En un principio, la bebida más usual era el guarapo, que podía ser o jugo fresco o fermentado sin cocinar, que era tóxico, o cocinado. El procedimiento más sencillo para sacar aguardiente consistía en hervir mostos de miel diluida en una tinaja. Los vapores subían a otro tinajín con orificios por debajo, que se colocaba encima; en lo alto, sobre un platoncillo colocado dentro del tinajín, empezaba a operarse la condensación del alcohol y la mixtura con el anís, y desde allí por un canutillo fluía el líquido a un recipiente exterior. La condensación operaba en virtud de que en lo más encima del tinajín había un plato de cobre sobre el que se aplicaba un permanente chorro de agua fría. Bastante aguardiente se sacatinaba en Cali para 1668. Se le llamaba aguardiente de caña y también de la tierra, en contraste con el de uva.

Para 1721 había en el Valle del Río Cauca 33 trapiches, 27 desde Caloto hasta Bugalagrande y 6 de Roldanillo hasta La Balsa que pagaban diezmos. Había otros más pequeños metidos entre montañuelas y arcabucos.

En 1736 se estableció en el Nuevo Reino el estanco del aguardiente por el sistema de arriendo. Este paso fiscalizador iniciaba una mayor centralización administrativa que, a su vez, permitía a las autoridades virreinales un mayor recaudo de rentas, y un más estricto control sobre la estructura social gobernada hasta entonces primordialmente por los cabildos municipales.

El siglo XVIII fue de gran expansión económica y cultural en Popayán, Cali, Buga, Cartago, y empezó a formarse Palmira en torno al oratorio de Nuestra Señora del Palmar. Fue cuando se construyeron las grandes casonas de hacienda y se enriquecieron las capillas y las residencias con obras de arte.

En gran parte, el origen de toda esta expansión comarcana está en las sacas de oro provenientes de Jelima, Chontaduro, Dagua, Raposo, Anchicayá, Cajambre,

Iscuandé, Barbacoas, Nóvita y otros reales de minas. En términos sociales, todo ello significó que en los lavaderos auríferos se tenían cuadrillas de esclavos, capataces y aguanderos, cura doctrinante, alguaciles del rey, bodegas con mercancías y al señor o al hijo vigilando para que no se escapara el grano de oro. Significó que a todo ese gentío había que abastecerlo de tasajo, queso, azúcar, tabaco, panela, harina, cacao, mieles, aguardientes, así como de lienzos, bayetas, naipes y abalorios.

Aumentó el número de trapiches. Se añadieron 34 entre Bolo y Buga y Vijes y Jamundí y crecieron los antiguos en las haciendas y ellas prosperaron pues eran las que proveían a las minas con todos los víveres.

Tenían los jesuítas varias molineras, el Colegio de Buga en Sepulturas, Sabaletas y Trejo; y el Colegio de Popayán en Vijes, Japio, Marredonda y Nuestra Señora de la Concepción de Nima. La más importante hacienda era esta última denominada también de Llanogrande. Había allí unas 60 hectáreas sembradas en cañadulce. Se llevaba una contabilidad detallada y libros de inventarios, cuentas, sirvientes, tierras y aguas. Había organización jerárquica de administrador, mayordomo, capitanes de cuadrilla, mandadores, maestros, prácticos, oficiales y artesanos.

Al implantarse para el aguardiente el estanco por asiento en 1765, estuvo a punto de estallar en Cali una revuelta y gentes de Llanogrande y Candelaria se preparaban para unirse a las de Cali, pero el cabildo caleño, actuando con rapidez, decretó con astucia suspender el estanco, dejando en libertad la destilación. Se pregonó por bando esa determinación, pero se puso a salvo cualquier ulterior decisión que el Virrey pudiese tomar. El Virrey accedió pero tachó de ligereza el proceder y exigió calidad en los destilados y un tributo equivalente al que pagaba al asentista. El Cabildo lo distribuyó entre los vecinos, como encabezamiento de la contribución.

El posterior paso en la irrupción del centralismo sobre las rentas fue la implantación de la administración directa, y dentro de esa política fiscal se estableció en Cali la Real Fábrica de Aguardiente que se construyó en piedra de sillería, depósito de mieles, sala de destilación con cinco grandes alambiques, bodega de leñas, alberca de mostos, alacena de anís y almacén para albergar el aguardiente ya elaborado que se repartía a todos los estanquillos dependiente de la Real Fábrica, hasta tan lejos como la Vega de Supía y el Chocó.

Cuando en 1801 pasó Alexander von Humbolt por Cali, recomendó a hacendados sembrar la caña Otahití que poco después importaron Francisco José Arboleda a Japio, Manuel de Caycedo Tenorio a Cañasgordas y Miguel Cabal y José María Lozano Peralta a sus haciendas del Llano de Buga. La Otahití se esparció por praderas de una y otra banda del río Cauca. Sin embargo, don Manuel de Caycedo mantuvo la antigua o criolla, mientras comprobaba si la nueva era sólo furor y robustez.

Fue la Hacienda de Japio una de las de más relieve comarcano por su riqueza y por su importancia política como abastecedora de los ejércitos, tanto durante las

guerras de la emancipación como en las civiles que se sucedieron a través del siglo XIX. Había pertenecido a los jesuítas y con la expulsión de ellos en 1767 había pasado a manos de Arboledas. Allí, don Sergio terminó de elaborar en 1856 sus APUNTAMIENTOS sobre el cultivo de la caña y fabricación de azúcar y rones. Es un documento, todavía inédito, que muestra tanto el estado de la ciencia, tecnología y praxis sobre el azúcar que se operaban en otros países, como también en el Patía, Neiva y, sobre todo, en el Cauca.

En 1867, Santiago Eder reemplazó en La Rita el molino de tracción animal con dos cilindros de madera que había descrito Jorge Isaacs en su novela María. El nuevo constaba de tres masas horizontales y rueda de hierro que rotaba con impulso hidráulico. La cristalización seguía siendo por purgación. Se sacaban 350 libras diarias de azúcar.

En 1873 se mejoró el entable y en 1901 se inauguró una nueva maquinaria. Dos calderas producían el vapor que accionaba un motor central que a su vez movía todo el conjunto. Un transportador de movimiento continuo acercaba la caña a los molinos de tres mazas cada uno, que funcionaban en serie o independientes. Ductos metálicos llevaban a las defecadoras el jugo, tratado con lechada de cal y calentado con el vapor permanente que entraba al fondo de doble pared de los calderos. Un filtro-prensa operaba el descachazamiento. En un horno de azufre se cumplía la sulfitación. En los evaporadores se concentraba el jarabe que luego cristalizaba en un tacho al vacío. Las centrífugas terminaban por separar de los cristales de sacarosa la película remanente de melaza. La capacidad de la fábrica era de 5 a 6 toneladas de azúcar por día. Para los tablones se importó la variedad Barbados. Para 1903 había 400 plazas de cañal. Desde entonces se empezó a llevar registro pluviométrico con instrumentos de precisión. Así se iniciaba en el Valle del Cauca una etapa decisiva en la moderna industria azucarera.

Desde 1909, la nación colombiana había cedido el privilegio del monopolio del alcohol y licores a los departamentos. La Ley 4a. de 1913 sentó como atribución de las Asambleas monopolizar la producción, introducción y venta de licores destilados embriagantes. No se instaló de inmediato aguardientería oficial en el Valle del Cauca, sino que se siguió contratando con particulares la producción.

Para 1920 se produce azúcar de pan y panela con modernas maquinarias en Palmira, Hacienda San José y Hacienda Santa Gertrudis; en Pradera, El Arado y Corozal; en Florida, La Industria y Perodías; en Corinto, La Elvira, Mendiola y La Siberia; en Caloto, Japio; y en Guachinte, El Nilo.

Palmira era meridiano de la molienda cañamelera. Al norte funcionan La Concepción de Amaime, El Hatico, El Alisal, Piedechinche, La Providencia y San Carlos y otros más que con entables grandes, medianos o pequeños abastecían de panela o azúcar de pan a los poblados de la llanura y la montaña.

El desenvolvimiento vial fue factor clave en el desarrollo agrario del Valle del Cauca. Por caminos de arrias y por comunicaciones fluviales había discurrido el comercio desde tiempos coloniales. En 1915, el ferrocarril había llegado a Cali

desde Buenaventura, y en 1917 a Palmira y avanzó con celeridad hacia Cartago y Popayán. La Carretera Central también se extendió a lo largo de la pampa. Se dinamizaron el intercambio de mercancías, la movilización de gentes y la trasculturización de costumbres. Se articularon entre sí los distintos circuitos y se acentuó para la comarca una vocación exportadora a otros mercados que se había iniciado desde finales del siglo XIX con exportaciones internacionales de café e internas de tabaco a Antioquia.

Sin embargo, Colombia importaba azúcar. Ello llevó a que dos industriales vallecaucanos, Alfonso Cabal y Hernando Caicedo, avizoraran en la producción azucarera un futuro promisorio. Alfonso Cabal, en asocio con otras personas, estableció en 1926 el Central Azucarero del Valle que pronto se llamó Ingenio Providencia. Con un Squier movido por electricidad, molía 500 toneladas de caña en 24 horas. Para 1929 había sembradas 1500 plazas de caña. En 1928, Hernando Caicedo inauguró el Ingenio Riopaila, con dos molinos Squier, y una desmenzadora con picacaña. Una planta de 350 kW generaba la energía. La Fábrica de Dulces Colombina se llevó a Riopaila en 1930.

Hasta ese momento, los tres ingenios vallecaucanos destilaban alcohol para las Rentas del Departamento del Valle que producía Aguardiente Blanco, Ron Viejo, Kumel, Anís del Mono y Menta; y en perfumería Agua de Colonia, Agua de Florida y el muy popular Bay Rum.

En 1929, gracias a la gestión de Ciro Molina Garcés y Carlos Durán Castro, llegó a Cali desde Puerto Rico el científico Carlos E. Chardon con una misión agrícola. Consignó su trabajo en el libro “Reconocimiento Agropecuario del Valle del Cauca”. Subrayó reparos a los sistemas de riego, excesivo espacio entre surcos y cepas, poca profundidad de la aradura y a otras prácticas de cultivo. Protocolizó recomendaciones para superar éstas y otras fallas. Estimaba como desatino que la mayor extensión de los cañaduzales estuviese vestida con la Otahití. Más de un siglo llevaba en preeminencia y era de presumirse que de súbito entrara en decadencia. Ponderó la excelencia de la POJ 2878 como caña de gran producción, alto contenido de sacarosa, resistente a enfermedades. Una vez reproducida en la Estación Experimental de Palmira, se la entregó a los cañicultores que la solicitaban. Chardon envió otras variedades, entre ellas la POJ 2714.

Hacia 1935, El Mosaico se abatió sobre los cañales de Antioquia y descendió al Valle del Cauca. Por fortuna existía ya la POJ 2878. Esta crisis indicó que debía fortalecerse la investigación de la cañamiel, si se quería progresar con certidumbre y firmeza hacia una agroindustria.

Para 1938 funcionaban ingenios azucareros en varias regiones del país. En la Costa Atlántica, Sincerín, Berástegui y Sautatá; en Cúcuta, Carrillo; en Cundinamarca, San Antonio, Payandé, Mave, El Paraíso y Argentina; y en el Valle del Cauca, Manuelita, Providencia, Riopaila, Perodías, Bengala, La Industria y Mayagüez.

Los ingenios ubicados fuera de la vallecaucanía eran todavía vigorosos, pero no podrían, a la larga, competir con la alta productividad de los cañales

vallecaucanos, con promedio de 1000 milímetros de lluvias a lo largo del año, temperatura media de 25 °C y oscilación de casi 12 °C entre el día y la noche, humedad relativa de 75.6% y brillo solar que sobrepasaba las 6 horas por día. Todo ello determinaba un medio ecológico excepcional para la caña de azúcar que empresarios de la comarca empezaron a aprovechar. En su planicie era más fácil introducir altas mecanización y tecnología.

Durante la Segunda Guerra Mundial se ahorraron divisas que se volcaron en industrialización. Se intensificó la mecanización del agro cañadulcero. En esta década surgieron los ingenios Pichichí, Oriente, San Carlos, Papayal, La Esperanza, El Arado, El Porvenir, Castilla, Meléndez y San Fernando. Al culminar la década eran ya 18 los ingenios centrifugantes. Es cuando un mayor número de empresarios accede al sector, proyectando con esa acción una importante expansión sacarífera.

Las importaciones habían venido disminuyendo hasta desaparecer en el año 1948 y, en cambio, se habían hecho pequeñas exportaciones en 1943 y 1944 durante la guerra, que sólo volvieron a hacerse en 1949. Ya el país se hacía autosuficiente en azúcar. En esos años se logró esa meta, cambio importantísimo en la economía general que sólo pudo coparse merced al esfuerzo de expansión ya mencionado. Se anunciaba además una capacidad exportadora, por eventual que hubiese sido entonces. Pero Colombia hubiera sido nuevamente deficitaria en azúcar para la década de años siguientes si no hubiera crecido, como de hecho creció, por lo menos al ritmo demográfico.

Al finalizar la década de 1940, la producción anual ha ascendido a 147,723 toneladas, o sea 2,954.460 bultos de 50 kilos. En 10 años se ha triplicado. La tasa promedio de crecimiento en la primera década de 1930 a 1939 fue del 8.6%, y en la segunda de 1940 a 1949 alcanzó el 11.5%. Algo sencillamente espectacular.

Por entonces empezaron a cerrarse ingenios en otras regiones, cuando ya a la vez había articulación vial con el país para que los azúcares vallecaucanos salieran a esos mercados foráneos. A medida que la población se congregaba en ciudades, se consumía más azúcar en forma de gaseosas, dulces, helados, galletas, con el consiguiente establecimiento de industrias para elaboración de estos productos.

Si la producción azucarera aumentaba a ritmo tan rápido se debió a varios factores que conviene apreciar en conjunto: se multiplicaba la población; desaparecía el azúcar de pan; se debilitaba la producción de fábricas centrifugadoras por fuera de la vallecaucanía; se consumía más y más azúcar centrifugado en el proceso de urbanización y, asimismo, en la industrialización de dulcerías y comestibles; y, finalmente, se sustituyeron importaciones. Estos fueron los factores contundentes.

Era pues ya evidente que la geografía de los azúcares había cambiado en el escenario vallecaucano desde Corinto a Zarzal y que la comarca se había hecho abastecedora de todo el país. Este compromiso no se detendría. La meta era abastecer el consumo nacional y exportar de continuo en adelante el mayor quintalaje posible.

Avances Tecnológicos entre 1950 y 1980

Jaime Guardiola Mora*

En 1930 se introducían al país, por recomendación de la Misión Chardon (1929), las variedades javanesas de caña de azúcar POJ 2878, 2714 y 2725 resistentes al virus del mosaico que darían durante varios años confiabilidad y garantía al sector azucarero. En 1937, con base en ellas y otras más, se iniciaron en la estación experimental agrícola (EAA) de Palmira creada en 1927, los trabajos de hibridación y la formación de un jardín de variedades, bajo la dirección del Ingeniero Agrónomo Guillermo Ramos Núñez.

Iniciada la década de los cincuenta, la industria azucarera la conformaban 14 ingenios localizados en la parte central y norte del Valle del Cauca. Los suelos, los recursos hídricos y el clima de la región ofrecían condiciones favorables para el cultivo de la caña de azúcar que permitían la cosecha durante todo el año calendario.

A finales de la década de los cincuenta existían 19 ingenios en la región y en 1978 existían 22; no obstante, debido a factores económicos y de competencia, a finales de 1979 sólo operaban 18 ingenios y en 1981 este número se redujo a 16. Una característica de la industria azucarera ha sido la incorporación en propiedad a la fábrica de los terrenos suficientes para abastecer la molienda durante todo el año calendario.

En la evolución del sector azucarero, algunos autores consideran dos etapas diferentes: entre 1901 y 1960 ocurre el surgimiento y estructuración del sector, y a partir de 1960 se inicia la etapa de expansión y modernización.

Al inicio de la década de los cincuenta, el área establecida en caña para la elaboración de azúcar centrifugado era de 18,620 ha. En 1960, esta área llegó a 61,600 ha, de las cuales 45,866 eran de propiedad de los ingenios, 4570 arrendadas y 11,164 pertenecían a proveedores. En 1974, el área total en caña era de 116,266 ha, que se distribuían entre propias de los ingenios (53,693), en contrato de participación y manejo de los ingenios (14,672), en arrendamiento (11,917) y de proveedores (35,984). En 1979 existían 130,200 ha en el valle geográfico del río Cauca cultivadas en caña. Este avance en el cultivo de la caña coincide con la etapa de expansión y modernización del sector azucarero.

Un factor incidental en la década de los sesenta, que contribuyó al aumento no sólo del área en caña de propiedad de los ingenios sino también al aporte de nuevas áreas por particulares, fue la Ley 135 de 1961 que creó el Instituto

* Jaime Guardiola es Ingeniero Agrónomo, especialista en riegos y drenajes. Dirección: Calle 5a. oeste No. 25-180, Cali, Colombia.

Colombiano de la Reforma Agraria (INCORA), que estaba facultado para expropiar las tierras deficientemente explotadas o inexploradas. En este período, los Ingenios Manuelita, Riopaila, Central Castilla y Providencia, que antes tenían una capacidad de molienda de 2000 a 3000 toneladas de caña en 24 horas, pasaron en 1970 a tener una capacidad entre 3001 y 5000 toneladas. A estos grandes ingenios, se sumaron en capacidad el Ingenio del Cauca en 1978 y luego el Ingenio Mayagüez. Para esta época la capacidad instalada de los molinos era superior a la utilizada.

Entre los hechos más sobresalientes y que contribuyeron al crecimiento de la industria azucarera, se pueden mencionar:

- El aporte de la EEA de Palmira al sector azucarero mediante su programa de hibridación y la introducción, por recomendación de la Misión Chardón, de nuevas variedades resistentes al mosaico.
- La asignación a Colombia, entre 1953 y 1959, de una cuota de exportación anual de 5000 toneladas de azúcar por decisión del Convenio Internacional, la cual no se utilizó en su totalidad.
- La revolución cubana que en 1959 convirtió al sector en exportador de azúcar, inicialmente hacia el mercado de EE.UU. y, posteriormente, con base en excedentes, hacia el mercado mundial.
- La fundación en 1959 de la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar (ASOCAÑA), como una organización gremial sin ánimo de lucro al servicio de los sectores azucarero y panelero, que iría a unificar la política azucarera.
- El pacto multilateral entre productores del sector firmado en 1965, que reglamentó la producción, el almacenamiento y el manejo de excedentes en los mercados interno y externo.

Avances en las Prácticas de Cultivo

Un factor paralelo para que el proceso de expansión ocurriera, fue la disponibilidad de nuevas variedades de caña importadas, que compitieron con la variedad tradicional POJ 2878.

Como se mencionó anteriormente, la investigación en caña se inició en la EEA de Palmira y fue continuada en 1963 por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) con la introducción de variedades de EE.UU., Puerto Rico, Barbados, Perú y Hawaii, las cuales se cruzaron con variedades locales para dar origen a una serie de clones registrados como EPC y luego como ICA, que posteriormente pasaron a formar parte de los bancos de germoplasma en varios ingenios azucareros.

Ante la desaparición en 1974 del Programa de Caña del ICA, debido a razones presupuestales y a la orientación de los recursos hacia la investigación en caña panelera y en frutos de pancoger, fueron los ingenios quienes, en forma individual, retomaron en la década de los setenta la investigación. En un principio, ésta se

orientó hacia la comparación de variedades promisorias a nivel de parcelas experimentales y a la ejecución de algunos ensayos sobre fertilizantes y uso de herbicidas; mientras tanto, se dependía en alto grado de las tecnologías generadas en Hawaii, Louisiana, Florida y Puerto Rico, principalmente; fue así como en 1968 llegaron los consultores Hawaiian Agronomics a los Ingenios Central Castilla y Riopaila. En la parte industrial, la compañía Abarca de Puerto Rico asesoraba a los ingenios anteriores y al Ingenio Providencia. Es necesario mencionar la firma Arthur Keller Corp. de Louisiana, que asesoró a los mismos ingenios en el proceso fabril y parcialmente en prácticas de cultivo en el campo. En la etapa de modernización, la mayoría de los ingenios recibieron asesoría de compañías internacionales en las diferentes áreas del procesamiento de la caña. Los ensanches en fábrica se hicieron, en gran parte, utilizando maquinaria proveniente de la desmantelación de ingenios en EE.UU. y Puerto Rico, y en la Costa Atlántica de Colombia de los Ingenios Sincerín, Berástegui y Santacruz, complementando sus necesidades con nuevos equipos.

En un principio (1950 a 1965), la incorporación de algunas tecnologías foráneas, tanto en labores de campo como en fábrica, motivaron una manifiesta competencia entre los grandes ingenios, creando con ello un ambiente individualista y reservado, en el cual cada uno se consideraba guardián de las tecnologías importadas, dando origen a barreras artificiales para su difusión, al tiempo que se perjudicaba a los pequeños y medianos ingenios y a los cultivadores; no obstante, estos últimos se las ingeniaban para obtenerlas y no quedarse a la zaga del sector.

Hacia la década de los setenta se inicia una etapa de capacitación de los técnicos de campo y de fábrica, mediante su asistencia y participación a congresos, foros internacionales y viajes de observación y estudio a centrales azucareras en Brasil, EE.UU., Puerto Rico, Perú, Venezuela y México. Fueron frecuentes los días de campo sobre prácticas de cultivo y novedades en maquinaria agrícola, con lo cual la tecnología, que antes era patrimonio privado de algunos pocos ingenios, se extendió a muchos técnicos y cultivadores del sector.

El sector azucarero no podía continuar dependiendo de las tecnologías foráneas, y fue entonces, cuando el 6 de septiembre de 1977 la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar (ASOCAÑA), con la presidencia del Doctor Rodrigo Escobar Navia, lideró la fundación del Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICANA). En el inicio, CENICANA se basó en las recomendaciones de la misión inglesa Bookers Agricultural and Technical Services (1978) y sus programas se orientaron, primero, a la introducción y evaluación de variedades como base para los programas de cruzamiento y selección; más adelante, a plagas y enfermedades, y física de suelos aplicada al manejo de aguas y suelos. En 1980, CENICANA estableció su estación experimental en el corregimiento San Antonio de los Caballeros, municipio de Florida, Valle del Cauca, en un campo de 60 hectáreas que adquirió del Ingenio Central Castilla.

En 1969, antes de la fundación de CENICANA, el Ingenio Mayagüez inició el programa de investigación de variedades con la asesoría del consultor Hans Sorensen quien, a su vez, había prestado sus servicios en la década de los cincuenta

al Ingenio Manuelita. Inicialmente, la investigación se orientó a la introducción de variedades y su evaluación agronómica y fabril y, en 1974, se inicia el programa de cruzamiento, dando origen a una serie de clones registrados como MZC. En forma paralela a este programa, se trabajó en la evaluación y control de plagas y enfermedades, nutrición vegetal, manejo de suelos e irrigación.

En 1974, Julio César Márquez, en esa época asesor de los Ingenios Mayagüez y Central Tumaco, introdujo la variedad de caña CP 57-603 desde la estación experimental Canal Point, Florida, siendo ambos ingenios los que la multiplicaron en sus plantaciones, en especial el primero de ellos que fue la fuente para la formación de semilleros básicos en los demás ingenios. Es importante aclarar que en 1966 el ICA había introducido esta variedad desde la estación experimental Belstville, Maryland, conjuntamente con otras variedades que no salieron del Banco de Germoplasma. Esta variedad, de buena producción de caña y de azúcar y con características agronómicas favorables, superó en corto tiempo a la tradicional POJ 2878 y, en 1980, ocupaba el 35% del total del área cultivada con caña en el valle geográfico del río Cauca. Desafortunadamente, la alta susceptibilidad a la roya (*Puccinia melanocephala*) y posteriormente al carbón (*Ustilago scitaminea* Sydow), detectado en 1981 en la región, precipitaron su sustitución por variedades más resistentes, tarea que correspondió a CENICAÑA.

En la década de los cincuenta, la situación fitosanitaria de las plantaciones de caña era aceptable, debido a las estrictas medidas sanitarias que se tomaban en los lugares de origen de las variedades antes de su introducción al país y a los controles internos por parte de los técnicos de la EEA Palmira y luego del ICA. Sin embargo, como resultado de la ausencia de personal especializado para la evaluación periódica de las plantaciones en los ingenios líderes y la escasa comunicación entre ellos, toda la responsabilidad sobre el estado fitosanitario del cultivo se depositó en las instituciones oficiales antes mencionadas, las cuales no contaban con el presupuesto necesario para atender esta labor. Se detectaron, entonces, enfermedades como la mancha de anillo (*Leptosphaeria sacchari*), muermo rojo (*Phyalospora tucumanensis*), mancha de ojo (*Bipolaris sacchari*), raquitismo de la soca (*Clavibacter xyli*), roya (*Puccinia* spp.), mal de piña (*Ceratocystis paradoxa*), Pokkah Boeng (*Gibberella moniliformis*) y otras que en esa época no presentaban importancia económica. Hacia la década de los sesenta, el mal de piña y el raquitismo de la soca se convertían en limitantes; y fue en 1965 cuando el ICA puso a disposición de los ingenios su planta de tratamiento térmico con aire a 54 °C por 8 horas para prevenir esta última enfermedad en el material utilizado para plantar semilleros básicos en los ingenios.

Posteriormente, en la década de los setenta, varios ingenios instalaron plantas térmicas, y los Ingenios Riopaila y Cauca introdujeron el tratamiento de la semilla por inmersión en agua a 50 °C durante 2 horas. Con la misma finalidad, en los frentes de corte se desinfectaban los machetes con soluciones bactericidas o se efectuaba el flameo de éstos, prácticas que posteriormente cayeron en desuso ante la efectividad de los tratamientos térmicos en los semilleros básicos.

En 1978, la presencia del mosaico en la variedad CP 57-603 motivó a los Ingenios Providencia y Central Castilla a solicitar los servicios de Jack L. Dean, fitopatólogo y virólogo de la estación experimental Canal Point de Florida, para que hiciera un reconocimiento de la enfermedad y evaluara su daño. El informe del Dr. Dean complementó el que previamente había presentado el Dr. Jorge Victoria, como funcionario del ICA, sobre el estado fitosanitario de las plantaciones del Ingenio Central Castilla. En 1980, CENICANA contrató al Dr. Hideo Koike, fitopatólogo del USDA en Louisiana, para que evaluara el estado de las plantaciones de los Ingenios Riopaila, Manuelita, Central Castilla y Cauca.

El barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis* Fab.) ha sido reconocido como una de las plagas más perjudiciales en la caña. Hasta mediados de la década de los cincuenta, algunos ingenios trataron de controlarlo por medio de pesticidas, pero con resultados poco satisfactorios, por lo que este método se descartó. A mediados de la década de los sesenta, el control se orientó hacia métodos biológicos, mediante la cría y liberación de los enemigos naturales, parásitos de huevos y larvas del insecto. Entre los parásitos de las larvas, los dípteros *Paratheresia claripalpis* (mosca indígena) y *Metagonistylum minense* (mosca amazónica) introducida del Brasil; la primera, existía en la región, pero en 1969 el Ingenio Riopaila introdujo la raza peruana que es más efectiva. Entre los parásitos de los huevos, la avispa *Trichogramma* spp.

En 1960, el Instituto de Fomento Algodonero (IFA) tenía establecido un programa de control biológico con *Trichogramma* spp. en sus laboratorios de Buga y Palmira, de donde se surtían algunos ingenios. El Ingenio Manuelita inició la cría y liberación de esta avispa entre de 1964 y 1969, cuando discontinuó en forma transitoria este programa. En este último año, el Ingenio Riopaila crea su propio laboratorio para dípteros, y los Ingenios Providencia y Manuelita hacen lo propio en 1970 para ambos tipos de moscas y *Trichogramma* spp. Fue tal la demanda de estos insectos benéficos, que se crearon laboratorios comerciales para su propagación y venta.

En 1968, la zona azucarera central del Valle del Cauca fue seriamente afectada por la invasión del gusano “cabrito” (*Caligo ilioneus* Cramer), un defoliador que atacó los cultivos de caña en los Ingenios Manuelita, Tumaco y Providencia. Para el control de esta plaga se utilizaron trampas tóxicas dirigidas a los insectos adultos (mariposas), aspersiones de la bacteria *Bacillus thuringiensis* dirigidas a las larvas, y liberación artificial de *Telenomus* spp., una avispa parásito de los huevos del insecto.

En la década de los cincuenta, la renovación de las plantaciones se hacía después del tercer corte sin tener en cuenta los conceptos de adecuación de tierras. Es a partir de 1960 cuando varios ingenios adquirieron maquinaria adecuada para esta última labor, como tractores de oruga CAT D-6 y D-6B hidráulicos de 76 HP en el tiro, acondicionados con “hoja topadora” y barra porta-herramientas, e iniciaron el mejoramiento del macro y micro relieves. Al mismo tiempo, referenciaron la topografía local a la red altimétrica levantada, inicialmente, por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y continuada en 1960 por la CVC

a lo largo del Valle del Cauca. El subsolado, como complemento a la preparación de tierras, se facilitó con estos equipos. El cálculo y diseño de movimiento de tierras, que en un principio se hacía en forma empírica, se mejoró en la década de los sesenta con el empleo del método de perfiles simples y dobles, la cuadrícula compensada y el centroide. A finales de la década de los sesenta, se adquirieron las traillas sin fondo, los marcos niveladores de graduación mecánica e hidráulica, las motoniveladoras y los cargadores de diferentes modelos, que facilitaron, aún más, estas labores.

A partir de 1970, los ingenios hacen altas inversiones en implementos y maquinaria agrícola más eficiente, de mayor potencia y versatilidad para la preparación de suelos, cultivo y transporte de la caña; entre ellos, los tractores CAT D6-C y los de aplicación especial, los arados-rastras de 10 y 12 discos de 36 pulgadas y de 16 y 22 discos de 32 pulgadas, que con el arado de cincel, irían a reemplazar en forma definitiva al arado de discos tradicional; las barras subsoladoras de diseño semiparabólico más eficientes y los rastrillos gigantes de 92 discos de 24 pulgadas en tandems escualizables acoplados a tractores enllantados con 475 HP. Otro avance significativo fue la introducción de los equipos de rayos láser utilizados para la nivelación de terrenos y en levantamientos topográficos, que adquirieron varios ingenios azucareros.

Para la misma época se iniciaron los estudios sobre la distancia entre surcos de siembra, tratando de ajustarla a los requerimientos de la nueva maquinaria usada para la cosecha y el cultivo de la caña. En los años cincuenta, la distancia normal de siembra era de 1.2 y 1.3 m entre surcos; más tarde, con la aparición de los tractores cultivadores tipo triciclo de ajuste variable en las llantas traseras y tractores de trocha estándar, esta distancia se amplió a 1.4 m ó 1.5 m, siendo esta última la más utilizada en la región a partir de la década de los sesenta. No obstante, en la década de los setenta, con la llegada de diversos modelos de tractores de mediana y alta potencia y con mayor amplitud entre ejes y número de llantas por eje, se ensayaron distancias entre 1.6 y 1.75 m tendientes a proteger los surcos de la plantación. En 1977, como resultado de estos ensayos, el Ingenio Manuelita adoptó con éxito las distancias de 1.5 m para la siembra de la caña en el piedemonte y de 1.75 para la siembra en la parte plana. En 1962, el Ingenio Central Castilla hizo algunos ensayos con distancias de siembra de 1.6 y 1.8 m para determinar su efecto en la producción de caña y sacarosa de la plantilla de la variedad POJ 2878, pero sus resultados no fueron concluyentes y, por lo tanto, no se adoptaron a nivel comercial. Sin embargo, la distancia de siembra adoptada en la región es de 1.50 m entre surcos.

En 1968, la Hawaii Agronomics International brindaba asesoría a los Ingenios Riopaila y Central Castilla y les recomendaba utilizar para la siembra trozos de caña con tres a cuatro yemas, previamente tratados con fungicidas contra el mal de piña y arreglados en paquetes de 50 trozos para su distribución en el campo cada 18 m. Esta recomendación fue adoptada por los demás ingenios, pero con una modificación posterior consistente en utilizar paquetes de 30 trozos para distancias de 10, lo cual resulta más práctico.

Este sistema de siembra con paquetes sustituyó favorablemente al que era común en los años cincuenta consistente; en un principio, en una yunta de bueyes, y luego en un tractor, halando las góndolas con trozos de semilla a través de la suerte surcada y distribuyendo a granel los trozos de caña en los surcos. En algunas haciendas se utilizaba el sistema de tallos enteros colocados en el fondo del surco y que se seccionaban luego en trozos antes de cubrirlos con suelo.

El tapado de la semilla ha sido siempre una labor manual; sin embargo, en la década de los sesenta se utilizaba un sistema mecánico, consistente en un tractor y dos discos acoplados a la barra porta-herramienta, que cubría el material con suelo de los taludes. Hacia finales de los setenta, el Ingenio Providencia ensayó la mecanización integral de la siembra utilizando la sembradora australiana de un solo surco marca "Toft".

Debido a la importancia del agua en el proceso de producción de caña y a la necesidad de los ingenios de incrementar su disponibilidad para abastecer la demanda de nuevas áreas de siembra y de la fábrica, se inició a principios de la década de los cincuenta la explotación de las aguas subterráneas. Los pioneros en el uso de este recurso fueron los Ingenios Manuelita, Riopaila, Providencia y Central Castilla, quienes contrataron los servicios de la firma perforadora Harold T. Smith International. A finales de esta década entró a operar la Compañía Colombiana Perforadora de Pozos (Colpozos), en la década de los sesenta aparece Servicios Técnicos de Pozos (Servipol) y, posteriormente, Interwelco de Colombia y la firma Martín Morningstar, como empresas nacionales dedicadas a la exploración y aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo.

En 1967, la CVC y el Servicio Geológico Nacional adelantaron los estudios cuantitativo y cualitativo de las reservas de agua disponibles en el valle geográfico del río Cauca, tendientes a reglamentar su explotación y asegurar su preservación. Hasta 1979, la CVC tenía clasificados 614 pozos de irrigación con un promedio de profundidad de 110 m y un caudal aproximado de 130 l/seg, correspondiendo al sector azucarero un alto porcentaje de ellos.

En la década de los sesenta y en los años anteriores, la decisión de aplicar riego se basaba en las apreciaciones de la humedad en el suelo que hacían los administradores de campo, las cuales correlacionaban con los registros pluviométricos que llevaban las haciendas de los ingenios. Al inicio de los cincuenta, los tensiómetros y los bloques de yeso para determinar la humedad en el suelo y programar los riegos, se utilizaron en pequeña escala por un reducido número de ingenios; no obstante, su uso fue efímero debido a su alto costo y dificultad de administración cuando se quiso generalizar en toda la plantación. En 1979, el Ingenio Providencia inició la programación de riegos con base en el balance hídrico en un área piloto de 560 hectáreas, el cual introdujo al país a partir de las observaciones hechas en 1971 en plantaciones de Hawaïi. Sin embargo, debido a la ausencia de una institución de investigación, fue necesario adoptar coeficientes obtenidos en Hawaïi para el cálculo de la evapotranspiración en tanque clase A, los que no se ajustaban a las condiciones ecológicas locales.

El riego por gravedad y por surco ha sido predominante en el cultivo de la caña en la región, y paralelo a él, a partir de los sesenta, se ha utilizado en menor escala el riego suplementario por aspersión. Inicialmente, este último se hacía en la etapa de germinación del cultivo, con equipos portátiles de aluminio y rociadores pequeños de relativa baja eficiencia por su capacidad y cubrimiento, por lo que posteriormente fueron reemplazados por aspersores medianos montados sobre trípodes que se adaptaron a cultivos de mediano desarrollo. En la década de los setenta, aparecieron los rociadores gigantes “tipo cañón” incorporados a la unidad de bombeo, de alto caudal y presión, y un diámetro de humedecimiento mayor. La aceptación generalizada de este equipo, utilizado en cualquier edad del cultivo, obligó al rediseño de las suertes del cultivo a formas rectangulares con longitud de surco entre 110 y 150 m. Su empleo se extendió a la aplicación suplementaria de fertilizantes en solución con el agua de riego.

En forma paralela con el desarrollo de sistemas de riego más eficientes, se desarrollaron sistemas de drenajes interno y externo. En un principio sólo se prestaba atención a los sistemas de drenaje para las aguas superficiales, pero la aparición de problemas de salinidad y de drenajes internos deficientes, obligaron al desarrollo de técnicas más avanzadas de adecuación de lotes, incluyendo el uso de enmiendas o mejoradores como el yeso y el azufre en suelos con problema de sodio, y la implementación de estudios freaticométricos como base para el diseño de los drenajes internos y el lavado de suelos. Estos se hacían en el inicio de los años setenta, con tubería de gres colocada en forma manual en yuxtaposición sobre un lecho de grava y, posteriormente, con maquinaria especializada y tubería de PVC corrugada y ranurada.

Es necesario mencionar aquí el aporte de la CVC y del IGAC al sector agrícola en general y al azucarero en particular, ya que gracias a sus publicaciones: “Estudios detallados de los suelos para fines agrícolas del sector plano del Valle del Cauca” coadyuvaron al diagnóstico y la solución de muchos de los problemas que afectan los suelos dedicados al cultivo de la caña. Además, la CVC prestó asesoría técnica a los cultivadores de la región en el diagnóstico y recuperación de suelos afectados por sales.

Como consecuencia de la disminución progresiva de los caudales naturales superficiales, de la creciente demanda de agua por el sector azucarero y del costo cada vez más elevado de su extracción del subsuelo, en la década de los setenta se iniciaba un aprovechamiento más eficiente de este recurso mediante la construcción de lagos artificiales, embalses y reservorios en áreas cercanas a los pozos profundos, mejoramiento de las bocatomas, estructuras de aforo y el revestimiento con concreto o tela de polivinilo de algunos canales de conducción.

Hasta mediados de la década de los cincuenta, una práctica común para mejorar o mantener la fertilidad del suelo, era la siembra de algunas leguminosas como variedades de crotalaria y frijoles canavalia y terciopelo, las cuales una vez florecían se incorporaban al suelo como abono verde. También era común aplicar cachaza como abono orgánico conjuntamente con las aguas de riego, pero su uso fue posteriormente regulado por la CVC, por medio del acuerdo no. 14 del 23 de

noviembre de 1976, el cual además regulaba el manejo de los efluentes de fábrica contaminantes de los ríos. Lo anterior obligó a los ingenios a contratar empresas especializadas en el manejo de aguas residuales y al empleo de la cachaza únicamente como abono incorporado en el suelo.

Como fertilizantes químicos se empleaban en los años cincuenta los nitratos de sodio (nitrato de Chile) y de calcio, el superfosfato simple, los sulfatos de amonio y calcio, el fosfato amoniacal y el cloruro y sulfato de potasio. Pero la verdadera revolución en el uso de fertilizantes en caña, ocurrió a partir de los años sesenta con la aparición en el mercado de la urea y el superfosfato triple, que conjuntamente con el cloruro de potasio, constituyen la formulación básica para la fertilización de la caña de azúcar.

Para determinar los niveles de fertilidad en el suelo era común en la década de los cincuenta utilizar el equipo de análisis colorimétrico “La Motte”, que aunque rápido y fácil de interpretar, era de baja precisión y en ningún caso reemplazaba los análisis de laboratorio, prestados en un principio por la Facultad de Agronomía de Palmira y por el ICA y la CVC y, posteriormente, en la década de los setenta, por los laboratorios de análisis de suelos y tejidos instalados por los ingenios. Como complemento a los análisis químicos, los ingenios realizaban ensayos en parcelas experimentales y, como un aporte basado en tecnologías foráneas, los Ingenios Providencia y Sancarlos instalaron conjuntamente en 1973 laboratorios para análisis químicos de tejidos por el sistema conocido como “Registro agronómico de Clements” o “Crop-logging”, de uso generalizado en Hawaii y que con algunas modificaciones se extendió a varios países azucareros.

El incremento en el uso de fertilizantes obligó al mejoramiento de la maquinaria y la forma de aplicación. Del sistema de aplicación manual de fertilizantes en banda o a voleo, se pasó al de chorrillo con abonadoras de espalda que se importaron en 1970 del Perú por el Ingenio Mayagüez. En 1961, en el Ingenio Central Castilla ensayó por primera vez la aplicación aérea de urea granulada, práctica que posteriormente realizaron otros ingenios con fertilizantes compuestos o en solución. No obstante, las pérdidas de nitrógeno por volatilización principalmente en la urea y la baja solubilidad del fósforo obligaron a la implementación de maquinaria y equipos para su incorporación en el suelo.

El control de malezas en caña se hacía en forma manual, con pala o azadón, y en forma mecánica con cultivadoras de manquera de púas ó paletas, haladas por bueyes o mulas, que fueron reemplazadas paulatinamente en la década de los sesenta por tractores cultivadores tipo triciclo y estándar. La aplicación de herbicidas inicialmente era mínima, debido a su alto costo y el escaso conocimiento sobre los productos que se ofrecían en el mercado; entre éstos, los más comunes eran el TCA (tricloroacetato de sodio), el 2,4-D (amina y éster), el Dalapón y el PCP (pentaclorofenol). En los años sesenta aparecieron el Diuron (Karmex), el Picloram (Tordon 101), el Linuron (Afalon) y el Paraquat (Gramoxone); y en la década de los setenta, las Atrazinas, Ametrinas y el Roundup (glifosato) y los surfactantes o tensioactivos que coadyuvan a la efectividad de los herbicidas.

El inventario de malezas en la región no ha cambiado mucho. En la década de los sesenta se registra la gramínea *Rotboellia exaltata*, que por su agresividad se conoce como “caminadora” o “pelabolsillo”.

Para la aplicación de los herbicidas se utilizaron en un principio las aspersoras de mochila de presión constante o variable, sistema generalizado en el sector azucarero. A finales de los cincuenta apareció en el mercado el equipo de fumigación de bestia marca “Triunfo”, que consiste en dos tanques de 16 lt cada uno, montados sobre un equino y controlados por un obrero encargado de hacer la aplicación. Este sistema fue adoptado por Manuelita y otros ingenios, con cierta reserva por su alto costo y rendimiento discutido. A mediados de los años setenta, en busca de mejorar la eficiencia en la labor, se introdujeron los tanques nodriza y es el Ingenio Manuelita quien importó de Argentina el equipo completo “Saez Medina”, construido en acero inoxidable, con bombas de llenado a presión y una capacidad para 5000 lt. Por la misma época, otros ingenios adquirieron un equipo similar marca “Acosta” de fabricación nacional.

Entre 1955 y 1970, las labores de cultivo mecanizado en la caña de azúcar consistían en aporque, desaporque, cultivada con discos o escarificadores, y el subsolado.

Avances en el Aprovechamiento de la Caña

Hasta mediados de la década de los sesenta, la plantilla en las variedades de maduración tardía como POJ 2878 y 2714, Co 421, H 32-8560, Azul de Casagrande y otras, se cortaba a los 18 meses de edad y las socas a los 16 meses; posteriormente, el intervalo entre cortes de la soca se redujo a 15 meses en las tardías y a 13 meses para las de maduración temprana o precoces. El corte de las plantillas se hacía entre 1 y 2 meses más tarde.

En esa época, la caña y los residuos de la cosecha no se quemaban, con lo cual se protegía el medio ambiente. El despaje era obligado y, con él, se conservaba la materia orgánica, se reducía el área efectiva para el control de malezas, y se lograba una economía en agua de riego y en las labores de cultivo mecanizado. El despaje era manual; primero, con garabatos, y más tarde, con ganchos metálicos, en forma alterna entre las calles del cultivo en distintas modalidades, según la cantidad de residuos. En los años setenta, el encalle de los residuos en la caña prequemada se mecanizó con la introducción de la despajadora de arrastre australiana tipo “peineta” y la encalladora brasileña “Lely” con 3 ó 4 ruedas giratorias con ganchos periféricos.

La quema en precosecha se inicia a partir de la década de los setenta a medida que los ingenios fueron adoptando el alce mecánico. Su adopción se basaba en la posibilidad de una escasez de mano de obra a corto plazo, en un incremento en el rendimiento del cortero, en la facilidad para el alce mecánico en las horas de la noche y en la mejor utilización del equipo de transporte y, por lo tanto, en la reducción en costos. Con la introducción de la práctica de quema en precosecha

de variedades semierectas, la eficiencia en el corte se elevó de 3.6 a 5.6 toneladas por hombre por día. En 1971, el Ingenio Providencia introdujo de Australia el machete de forma curva, el cual por sus características ergonómicas, propias para el sistema de corte australiano, permitía elevar la capacidad diaria de corte/hombre por encima de 12 toneladas de caña erecta previamente quemada. En 1975, varios ingenios interesados en la modalidad de corte australiano enviaron a una parte de su personal a la República Dominicana a evaluar este sistema y, más tarde, el SENA seleccionó a un grupo de corteros para recibir capacitación en ese país y liderar luego la aplicación del sistema en nuestro medio. Sin embargo, una vez puesto en práctica no prosperó totalmente, debido a las condiciones de desarrollo de las variedades locales no erectas. Aunque sí se aprovechó el machete, con el cual es posible cosechar entre 8 y 9 toneladas por hombre por día, mientras que con el machete tradicional o sable rojo, se obtienen entre 5 y 6 toneladas en el mismo tiempo de labor en caña quemada.

Como paso intermedio entre la cosecha manual en caña quemada y la mecanizada o integral, en la década de los setenta los ingenios adoptaron en forma paulatina el alce mecánico en caña larga. Inicialmente lo hicieron los Ingenios Riopaila, Mayagüez, Tumaco, y Pichichí en un alto porcentaje. El Ingenio Providencia ensayó en un frente de caña sin quemar la alzadora “Broussard” montada sobre un tractor de oruga CAT-D4, con resultados poco satisfactorios. En 1978 se ensayaron en caña quemada con buenos resultados nuevos modelos, “Cameco” y “Vanguard”, montados sobre tractores enllantados. En forma simultánea, el Ingenio Manuelita adquiere la alzadora Cameco, y los Ingenios Mayagüez y Tumaco la “Toft” tipo jirafa, por el largo del aguilón. El primer ingenio en utilizar el alce mecánico en caña quemada fue Riopaila; para el efecto, en 1952 empleó la alzadora “Thompson” sobre carriles. Más tarde, en 1965 importó la alzadora-troceadora continua marca “J&L” con descargue lateral, y el conjunto de vagones con descargue por el sistema de “hilo”, pero su uso se descartó más tarde.

En la década de los cincuenta, la unidad básica para el transporte de la caña estaba formada por un tractor enllantado equipado con 10 vagones “Electric Wheel” con capacidad para 3.5 toneladas cada uno. Los Ingenios Manuelita, Riopaila, Central Castilla y Providencia transportaban la caña cosechada en áreas próximas a la fábrica, por medio de un ferrocarril compuesto de una red de carrileras internas permanentes a las que se conectaban carrileras portátiles con segmentos de 6 m ensamblados dentro de las suertes en proceso de corte. Los vagones, cargados manualmente, eran inicialmente halados por bueyes y luego por tractores enllantados hasta la red fija, de donde se llevaban hasta la fábrica en locomotoras diesel y más tarde en tractores enllantados. Este sistema de transporte se eliminó en forma gradual. Los Ingenios Manuelita, Providencia y Riopaila lo hicieron entre 1965 y 1970, y Central Castilla en 1978.

Durante el período de expansión del sector azucarero, se incorporaron tierras localizadas a más de 20 km de las fábricas; por lo tanto, las pequeñas estaciones de trasbordo y los camiones pequeños adaptados para el transporte resultaron ineficientes y antieconómicos. En 1968, el Ingenio Central Castilla adquiría el

equipo de transporte y descarga J&L tipo “hilo”, diseñado originalmente en Hawaii, compuesto de vagones o canastas con 24 cadenas en su interior para la descarga lateral, y con una capacidad para 25 a 30 toneladas de caña larga. Este sistema despertó el interés de los demás ingenios, quienes en corto tiempo lo adoptaron. Sin embargo, a finales de los setenta, durante la etapa de modernización del transporte de la caña, se introducía el remolque denominado “de descargue alto”, que tenía como característica una canasta independiente del chasis que estaba pivoteada en uno de los barandales de descarga.

En 1962, los Ingenios Central Tumaco y Riopaila realizaban los primeros trabajos sobre el corte mecanizado en caña sin quemar, utilizando una máquina hawaiana marca “Stubenberg” que cortaba, descogollaba y alzaba al mismo tiempo; sin embargo, los resultados fueron negativos y la máquina terminó únicamente como alzadora. En 1979, en el Ingenio del Cauca se experimentó el corte mecanizado de caña quemada utilizando la cortadora descogolladora J&L tipo soldado, pero nuevamente los resultados no fueron satisfactorios, debido a que este equipo exige cañas erectas de bajo tonelaje cultivadas en surcos aporcados. En el inicio de la década de los ochenta, el Ingenio Providencia importó con buenos resultados una cosechadora integral marca “Class” que corta, descogolla, parte en trozos y descarga la caña previamente quemada.

Un factor importante de producción es la cosecha de la caña en el punto de máxima concentración de sacarosa. Este punto está determinado por factores de clima, características físicas y químicas de los suelos, prácticas de cultivo y por la variedad. A mediados de los años setenta, se introdujeron los métodos químicos y fisiológicos utilizados en la industria azucarera mundial para determinar dicho punto; entre ellos, el seguimiento del desarrollo del cultivo y el contenido de humedad en los tejidos de la planta, según el método de Clements o Crop Logging (en las yaguas 3 a 6) ó el método de Stalk-Log de Burr (en los entrenudos 8 y 10). En la misma época, se probaron otros métodos como el coeficiente de maduración (pol caña/azúcares invertidos), el coeficiente de glucósidos, el refractómetro de mano y los tradicionales análisis del jugo de primera extracción en muestras tomadas periódicamente 3 a 4 meses antes de la cosecha programada. En 1977, los Ingenios Providencia y Sancarlos adoptaron a nivel comercial los métodos de Clements y de Burr.

En ausencia de la madurez fisiológica, debido a factores que la inhiben o retardan, es posible inducirla artificialmente con productos químicos denominados madurantes, que regulan o inhiben el crecimiento y favorecen la concentración de sacarosa en los tejidos. En 1975 se realizaron con relativo éxito algunos ensayos sobre maduración artificial en caña, utilizando productos probados en otros países como Ethrel, Azulox, Polaris, Embank, Racuza y Polado; aunque los resultados se pueden considerar satisfactorios, los ensayos no se continuaron.

Además de la importancia que para el sector azucarero representa la creación de CENICAÑA, es necesario reconocer la contribución al desarrollo del sector azucarero de las agremiaciones siguientes:

Avances Tecnológicos entre 1950 y 1980

- Asociación Colombiana de Productores y Proveedores de Caña de Azúcar (PROCAÑA), fundada el 25 de julio de 1973, como una entidad sin ánimo de lucro conformada por productores y proveedores de caña de azúcar, con el objeto de impulsar y defender los intereses de sus afiliados, mejorar sus convenios con el sector industrial y colaborar con organismos nacionales e internacionales dedicados al mejoramiento de la industria azucarera.
- Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA) que se constituyó en octubre de 1971 por iniciativa del entonces Presidente de ASOCAÑA, doctor Rodrigo Escobar Navia, como institución sin ánimo de lucro, agrupa a las personas involucradas directa o indirectamente en la agroindustria de la caña y sus derivados, con el objeto de intercambiar experiencias mediante la realización de simposios, foros y estudios de carácter científico y colaborar con entidades y organizaciones científicas nacionales e internacionales.

El balance general muestra un sector que ha evolucionado tecnológicamente, colocándose al nivel de los países más avanzados en la agroindustria de la caña de azúcar. Se han adoptado y mejorado tecnologías foráneas de acuerdo con los requerimientos del medio y queda un amplio futuro con la creación de CENICAÑA.

Avances Tecnológicos en la Década de los 80 y Perspectivas del Cultivo

James H. Cock, Carlos A. Luna y [Camilo Isaacs E.](#)*

Tendencias en la Producción

La productividad del sector azucarero colombiano ha aumentado en forma continua desde 1980. En ese año, la producción total de azúcar fue de 1.25 millones de toneladas, mientras que en 1994 llegó a 1.90 millones. Este aumento es el resultado de la expansión en el área de siembra, desde 133,000 ha en 1980 hasta 185,000 ha en 1994, y del incremento en la producción de azúcar, pasando de 9.4 a 12 t/ha por año en el mismo período. Mientras que el área cultivada permaneció más o menos igual durante los primeros años de la década del 80, la producción de caña lo fue hasta 1992 con un nivel de 120 t/ha, mostrando a partir de ese año y hasta 1994, un ligero aumento con producciones de 130 t/ha.

Los rendimientos de azúcar fluctuaron aproximadamente 11% alrededor del promedio en la región. Las fluctuaciones dependieron del régimen de lluvias, siendo 1992 un año seco durante el cual los rendimientos fueron altos. No obstante, la tendencia ha sido hacia el aumento en la producción como resultado, entre otras prácticas, del corte a edades más tempranas. Así, mientras que en la década del 70 los cortes se realizaban a los 19 meses, a partir de 1980 se hacen entre 13 y 14 meses. Aquí es necesario señalar que durante 1994 ocurrió un aumento en las edades de corte, debido a un desfase entre el tonelaje de caña y la capacidad de molienda de los ingenios.

Un hecho que llama la atención es la gran variabilidad observada en los niveles de producción de azúcar en diferentes nichos ecológicos de la región. Entre 1991 y 1993, el 20% de las “suertes” más productivas rindieron hasta 18 t/ha, siendo el promedio de 11.5 t/ha, mientras que el 20% de las menos productivas rindieron 9.1 t/ha. Esta variación tan amplia en producción sugiere que existe un gran potencial para aumentar la productividad, mediante la aplicación generalizada de las tecnologías disponibles.

En el futuro se espera que la producción de caña por hectárea no aumente mucho; sin embargo, con menores edades al corte será posible lograr aumentos significativos en la producción por cosecha. Esto traerá ventajas para los agricultores y para la industria en general, ya que es más fácil cosechar cañas erectas de menor edad que cañas acamadas y sobremaduras.

* James H. Cock es Ph.D., Director General de CENICAÑA. Carlos A. Luna es Economista. Camilo Isaacs es Ingeniero Agrónomo de CENICAÑA, Apartado Aéreo 9138, Cali, Colombia.

El gran desafío actual para el sector azucarero colombiano es aumentar su productividad en los próximos años, ya que en los años anteriores los mayores rendimientos se han debido a la producción de caña y no al rendimiento en azúcar. Los análisis económicos indican que los beneficios obtenidos a partir del aumento en la producción de azúcar por hectárea por año debido al incremento en el rendimiento, son equivalentes, aproximadamente, al doble de los beneficios que se obtendrían de un aumento similar en el tonelaje de caña. Es posible aumentar los rendimientos de azúcar mediante un mejor manejo del cultivo y la reducción de las pérdidas de sacarosa entre la cosecha y la elaboración de azúcar.

Cambios Tecnológicos

El desarrollo de nuevas tecnologías ha sido fundamental para el avance del sector azucarero, ya que no sólo le han permitido aumentar su productividad sino que le han ayudado a enfrentar la amenaza de enfermedades como la roya y el carbón y, actualmente, a combatir la escaldadura de la hoja que se detectó en la región en diciembre de 1994.

CENICAÑA fue fundado en 1977, pero fue a partir de 1980 cuando empezó a generar los primeros resultados con aplicación comercial, que han servido de base para el desarrollo de la industria. Varios de estos resultados se presentan a continuación.

Adecuación de tierras

La configuración de las suertes ha cambiado poco en los últimos años; la aparición del láser ha facilitado la nivelación de los lotes para cultivo; los ingenios y los proveedores han hecho altas inversiones en drenajes subterráneos y en las recuperaciones de zonas con problemas de salinidad. En el futuro se esperan grandes cambios en la configuración de las suertes para facilitar la cosecha mecánica en tablones más largos, con menos cabezas de riego y canales de drenaje menos pronunciados. El aporque probablemente volverá a ser una práctica generalizada.

Control de enfermedades y plagas

El sector azucarero sigue dependiendo de variedades resistentes y del control biológico y fitosanitario con el uso mínimo de agroquímicos para combatir los enemigos naturales de la caña.

En la década del 80 aparecieron dos enfermedades: la roya y el carbón. Esta última atacó especialmente la variedad CP 57-603, común en la región. Para enfrentar el problema, como primera medida, se destruyeron las cepas infectadas y de manera paulatina se reemplazaron por variedades resistentes. Afortunadamente la variedad MZC 74-275 desarrollada por el Ingenio Mayagüez, de buenas características agronómicas y un alto contenido de sacarosa, resultó resistente a la raza del carbón existente y, por lo tanto, se utilizó para reemplazar las

plantaciones infectadas. En forma alternativa, en aquellas zonas donde la variedad MZC 74-275 no presentó buen desarrollo, se ha utilizado la variedad PR 61-632. Las nuevas variedades desarrolladas para el valle geográfico del río Cauca tienen, actualmente, resistencia a carbón, roya y mosaico; a la vez, se están buscando nuevas variedades tolerantes a la enfermedad.

El raquitismo de la soca es otra enfermedad insidiosa que no se detecta de manera visual y que puede reducir drásticamente la producción, especialmente durante los años secos. El control mediante el empleo de cámaras de aire caliente no ha dado los resultados esperados, a tal punto que durante 1981 la incidencia de la enfermedad en los campos comerciales fue de 15%, aproximadamente. Sin embargo, con el tratamiento de los esquejes en agua caliente es posible reducir el grado de infección a 2%.

La región ha sido pionera en el control biológico de plagas, especialmente *Diatraea* spp. Este control se basa en el manejo integrado, lo cual exige un seguimiento continuo del nivel de infestación, mediante una alta inversión de tiempo, recursos y esfuerzo humano.

Variedades

Hacia el final de la década de los 60, la variedad POJ 2878 predominaba en el valle geográfico del río Cauca, pero en la década de los 80 era la CP 57-603 la que más se cultivaba. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, esta última fue prácticamente destruida por el carbón y la roya, lo que obligó a su reemplazo por la variedad MZC 74-275, que predomina actualmente. En este proceso se nota una tendencia hacia el uso de variedades de acuerdo con los diferentes nichos ecológicos existentes en la región; así, mientras la variedad POJ 2878 alcanzó más del 80% del área sembrada, la CP 57-603 llegó a 65% y la MZC 74-275 ha alcanzado en los últimos años el 45% de dicha área.

En el futuro se espera que la tendencia sea hacia la siembra de una mayor diversidad de variedades adaptadas a las diferentes condiciones ecológicas. Este proceso estará probablemente acompañado de un mayor número de variedades producidas localmente, ya que hasta finales de la década de los 70 las variedades utilizadas eran, en su mayoría, de origen foráneo, mientras que en 1994 más de la mitad eran colombianas.

Fertilización

Con la agrupación de los suelos de la zona azucarera de acuerdo con sus características físicas y químicas, se ha observado un cambio paulatino en la aplicación de las recomendaciones universales sobre el uso de fertilizantes. Por ejemplo, el fósforo se aplica en niveles muy bajos debido a la escasa respuesta en producción de las variedades predominantes, mientras que la respuesta a potasio depende del tipo de suelo y la variedad.

Parece que algunas variedades CENICAÑA-Colombia (CC) tienen una mayor producción de caña con aplicaciones moderadas de nitrógeno que las

variedades tradicionales. Se espera que en el futuro la cantidad aplicada de fertilizante sea determinada no sólo por el tipo de suelo sino también por la variedad de caña.

Riego

—A más agua más caña y por ende más azúcar— este principio, tradicional en la región, ha perdido fuerza debido a los nuevos conocimientos sobre los requerimientos de agua. A principio de los 80 era frecuente encontrar suertes que recibían 12 o más aplicaciones de riego, pero en 1992 como resultado de una fuerte sequía y del racionamiento de la energía eléctrica que obligó a restringir la utilización de los pozos profundos, los productores empezaron a hacer un mejor uso del balance hídrico para programar los riegos y dieron una mayor importancia a la aplicación por surcos alternos.

En los últimos años se han observado grandes diferencias en los requerimientos de agua de las diferentes variedades; por ejemplo, la variedad MZC 74-275 no tolera la deficiencia de agua y mantiene su rendimiento aún bajo condiciones de exceso de agua; lo contrario ocurre con la variedad CC 84-75. Se espera que en el futuro el manejo de riego sea diferente de acuerdo con los requerimientos de cada una de las variedades.

Maduración de la caña

En un principio la maduración de la caña se inducía sometiendo la planta a un estrés por déficit de agua para acelerar su agostamiento. En este sistema, la maduración depende de las lluvias y los rendimientos son mayores cuando ocurre una sequía 1 ó 2 meses antes de la cosecha. No obstante, con el uso de madurantes o productos químicos que aceleran la maduración, es posible obtener caña para cosecha con mayores rendimientos a través de todo el año.

Cosecha

En la década de los 70, conjuntamente con el alce mecánico, apareció la práctica de la quema antes de la cosecha, llegando a ser de uso generalizado debido a que facilita el corte y permite la entrega de caña limpia al molino.

Actualmente, el corte en su gran mayoría se hace en forma manual, pero existe una marcada tendencia hacia la adopción del corte mecanizado. Varios ingenios introdujeron el corte mecanizado en la década de los 80, siendo el Ingenio Providencia el primero en experimentarlo, aunque más tarde lo descartó. Sin embargo, en la actualidad, debido al alto costo de la mano de obra y a problemas de contaminación ambiental, el empleo de cosechadoras tipo combinada y el alce continuo han cobrado de nuevo importancia, a tal punto que a principios de 1995 ya existían en el sector seis equipos de este tipo. En el futuro, se espera un aumento paulatino de la cosecha mecanizada como resultado de sus ventajas en la reducción de costos y del tiempo entre cosecha y molienda, y la mayor flexibilidad en la programación de las cosechas.

Avances Tecnológicos en la Década...

Estos cambios conllevarán una disminución en las quemas y una mayor proporción en caña verde, lo que implicará cambios fundamentales en el manejo del cultivo hacia la obtención de variedades erectas con buen deshoje y la introducción de nuevas tecnologías para el manejo de residuos.

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.

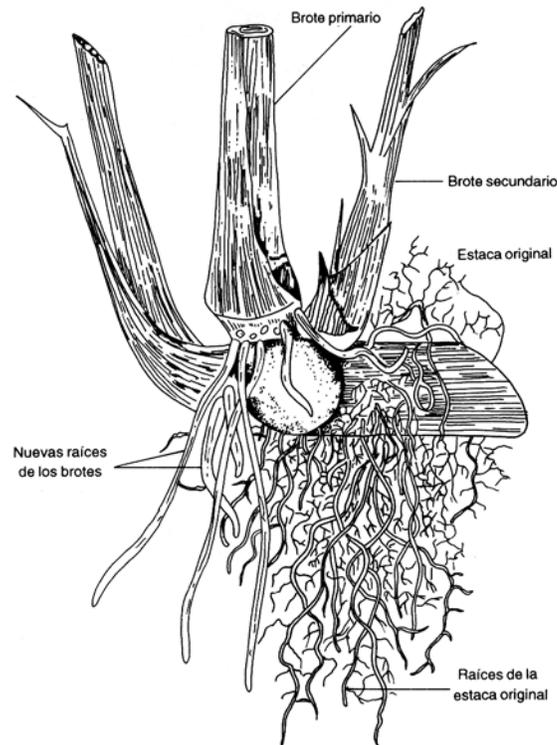


Figura 1. *Sistema radicular de la caña de azúcar.*
FUENTE: Humbert, 1974.

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

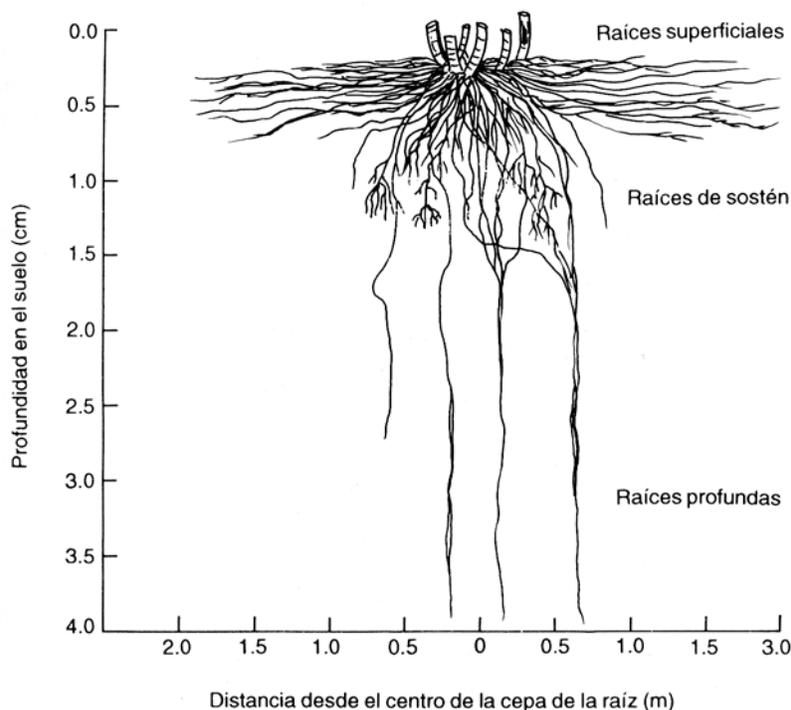


Figura 2. Distribución de las raíces de la caña de azúcar.
FUENTE: Blackburn, 1991.

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.

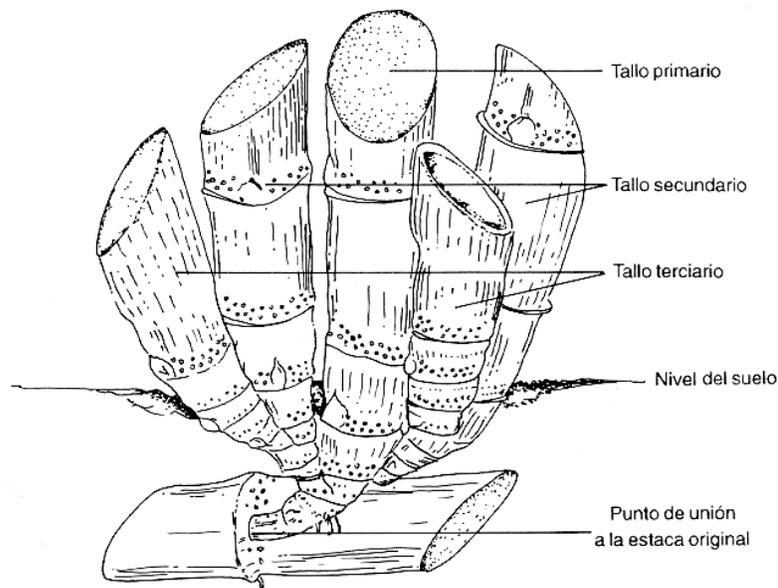


Figura 3. *Diferenciación de los tallos de la caña de azúcar.*
FUENTE: Humbert, 1974.

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

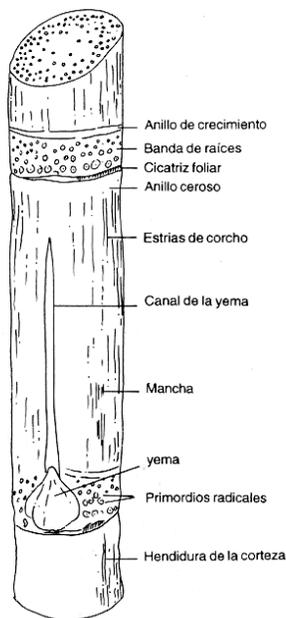


Figura 4. Partes principales del tallo de la caña de azúcar.

FUENTE: Artschwager y Brandes, 1958.

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

FUENTE: Artschwager y Brandes, 1958.

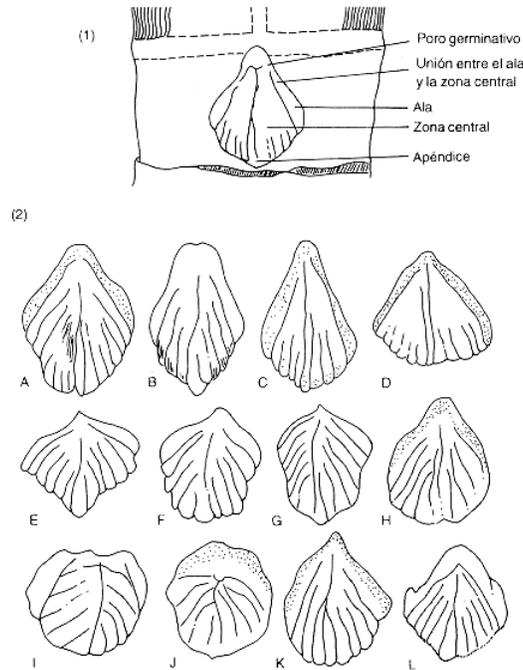


Figura 5. Partes de la yema del tallo de la caña de azúcar (1), y formas más comunes (2): A: Ovoide; B: Ovoide angosta; C: Deltoide larga; D: Deltoide corta; E: Romboide; F: Pentagonal; G: Pentagonal con alas en la parte superior; H: Ovoide angosta con alas prominentes en la parte superior; I: Redonda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

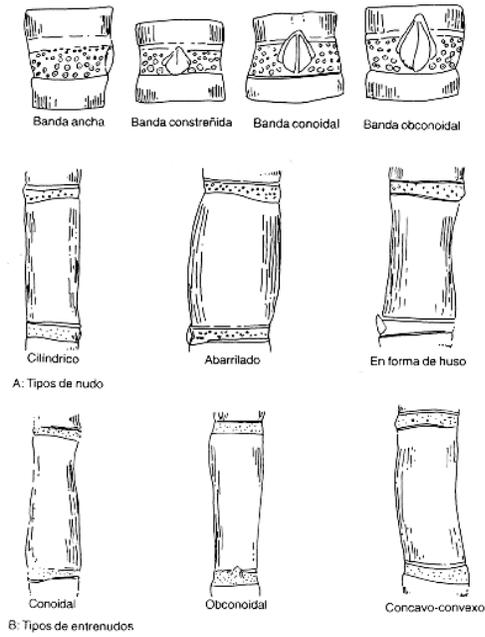


Figura 6. *Tipos de nudos (A) y entrenudos (B) del tallo de la caña de azúcar*
 FUENTE: Blackburn, 1991.

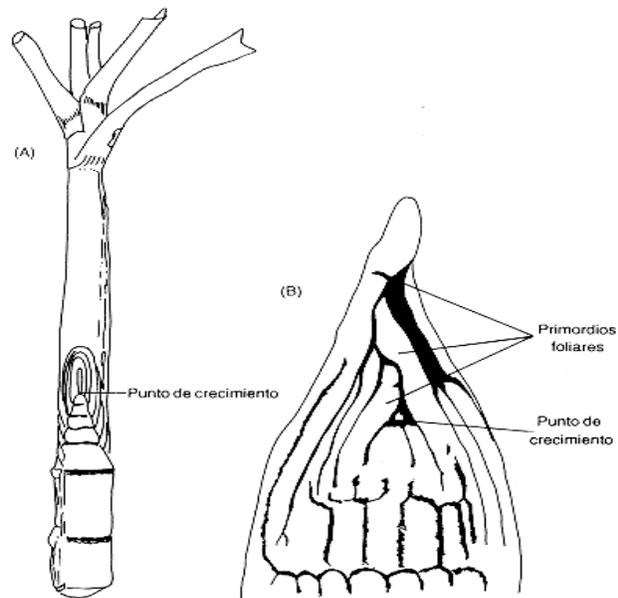


Figura 7. *Localización de los puntos de crecimiento del tallo de la caña de azúcar (A) y partes que los conforman (B).*

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

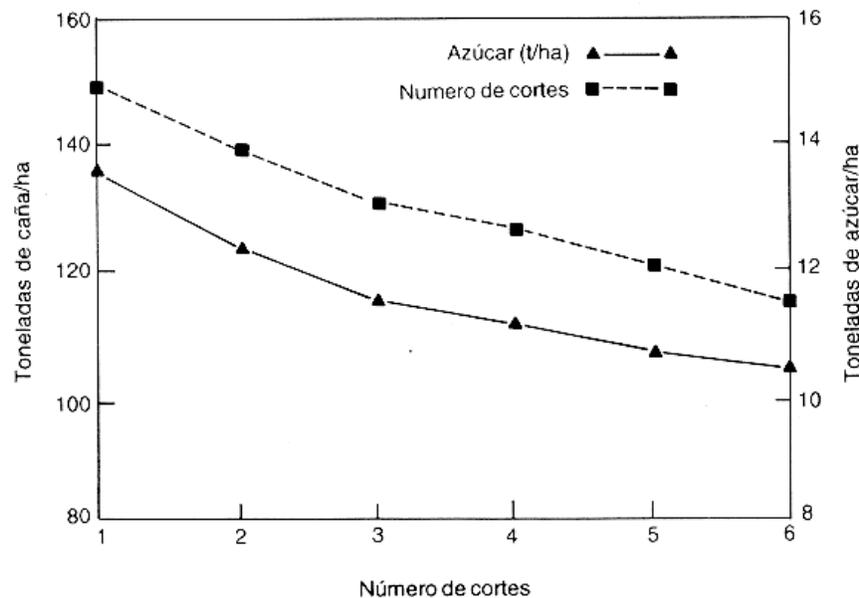


Figura 8. Producción de caña y de azúcar en la industria azucarera colombiana, de acuerdo con el número de cortes.
FUENTE: Luna et al., 1992.

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 (CENICAÑA, 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 CENICAÑA (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).

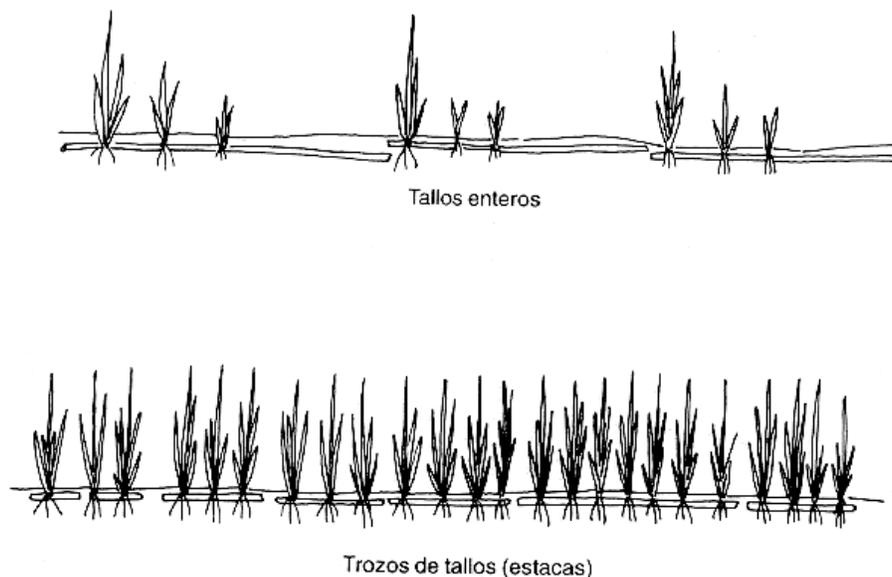


Figura 9. *Perspectiva de la dominancia apical en la germinación y enraizamiento de la caña de azúcar.*
FUENTE: Blackburn, 1991.

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

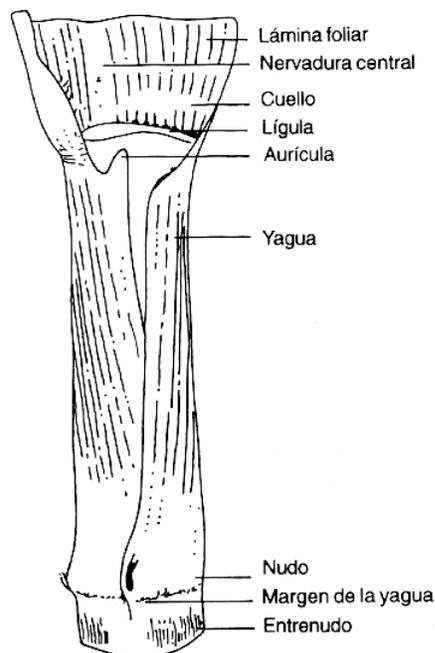


Figura 10. Partes estructurales de la hoja de la caña de azúcar.
FUENTE: Humbert, 1974.

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

Variedad	Eficiencia fotosintética ^a	
	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 cariósipide. Por lo tanto, lo que comúnmente se conoce como semilla es una cariósipide. El fruto es de forma ovalada de 0.5 mm de ancho y 1.5 mm de largo, aproximadamente, (Figura 12).

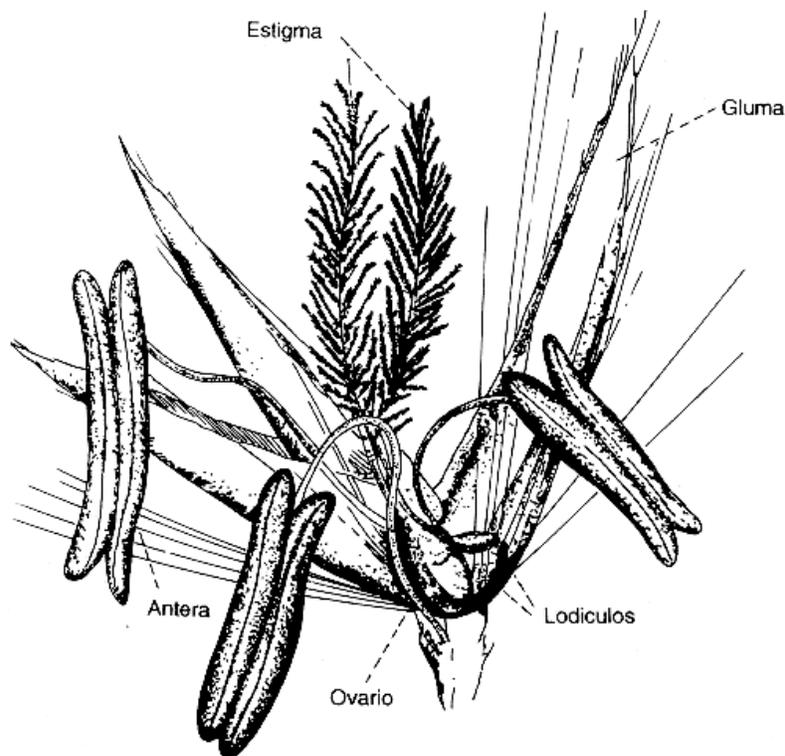


Figura 11. *Flor de la caña de azúcar.*
Fuente: Moore, 1987.

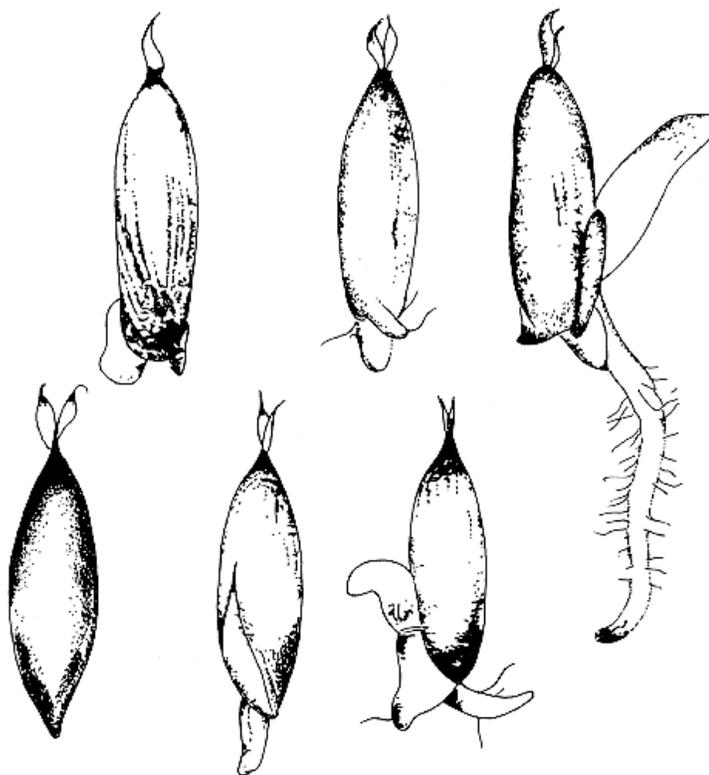


Figura 12. *Semillas de caña de azúcar en diferentes estados de desarrollo.*
FUENTE: Moore, 1987.

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.

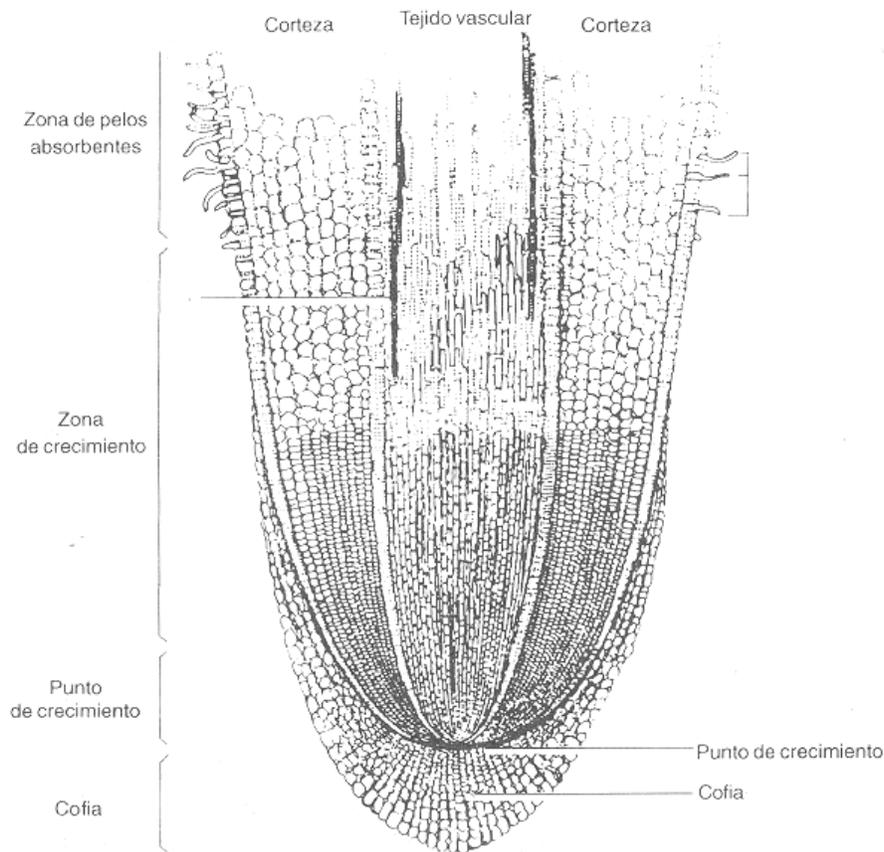


Figura 13. Corte longitudinal de una raíz de caña de azúcar.
FUENTE: Julien et al., 1989.

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 CO₂ y los nutrimentos en carbohidratos, en presencia de la luz solar.

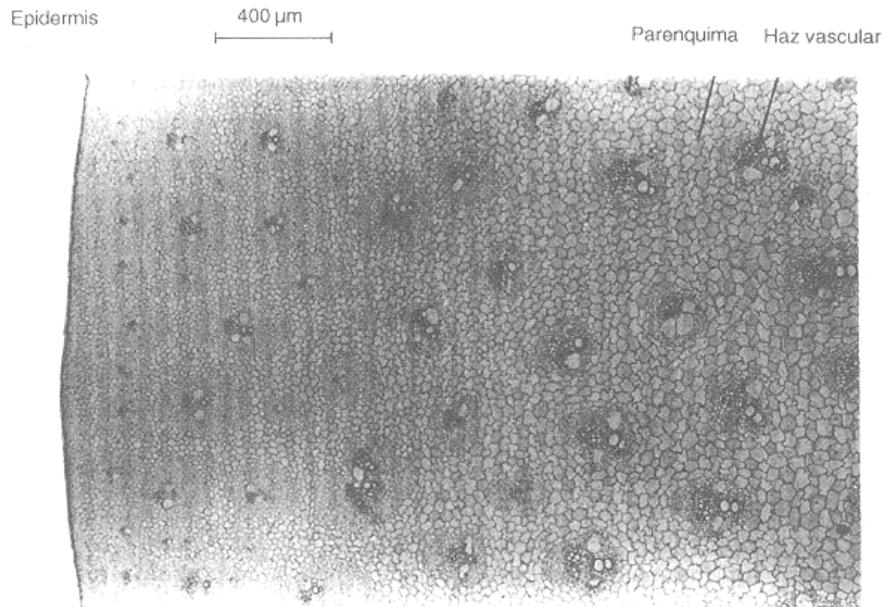


Figura 14. *Corte transversal de un tallo de caña de azúcar.*
FUENTE: Moore, 1987.

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_2 , 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).

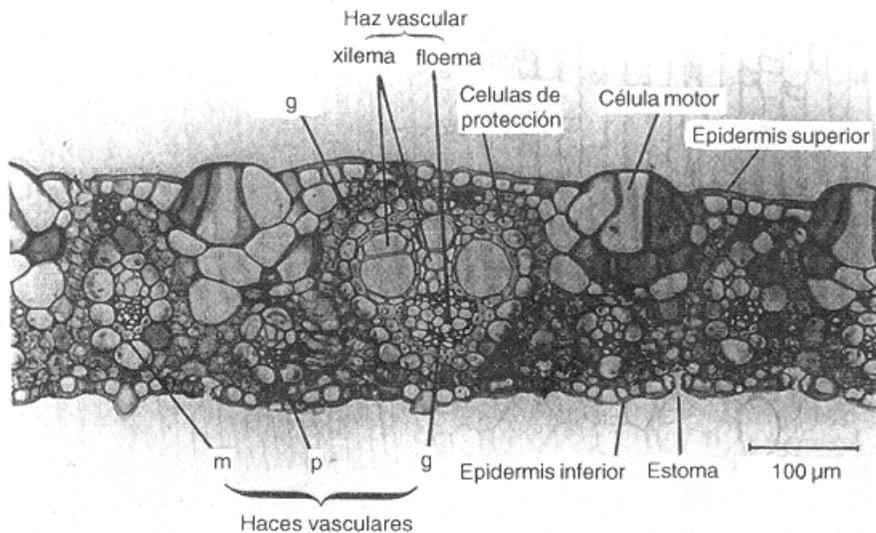


Figura 15. Corte transversal de una hoja de caña de azúcar. Nótese la presencia de los haces vasculares pequeños (p), medianos (m) y grandes (g). FUENTE: Moore, 1987.

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 CO_2 y el 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 (μm) de $\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{seg}$ (Bull, 1969). Irvine (1967), en diferentes variedades de caña, encontró tasas entre 22 y 55 μmol de $\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{seg}$, mientras que en CENICANA se han obtenido hasta 50 μmol 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 (mg/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

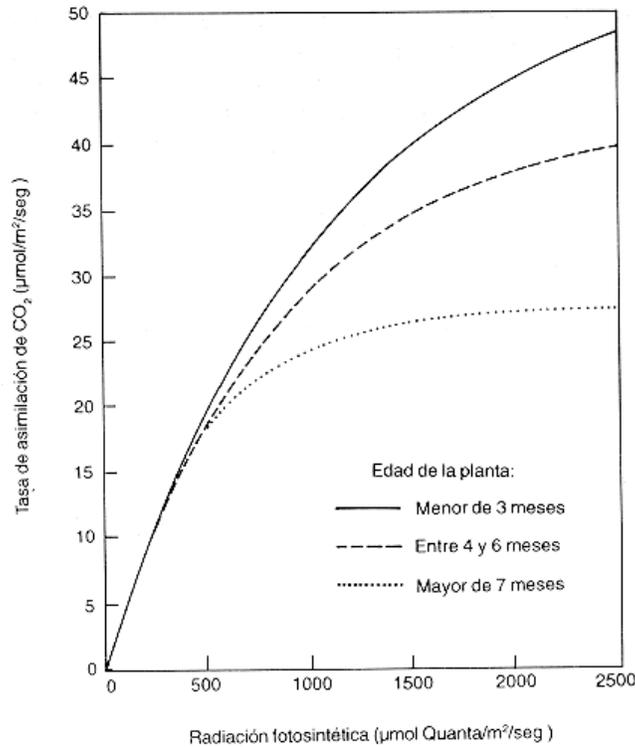


Figura 16. *Relación entre la tasa de asimilación de CO₂ (Fotosíntesis) de la caña y la disponibilidad de luz, a varias edades del cultivo.*
 FUENTE: CENICAÑA Informe Anual 1992.

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 CO_2 en el aire (Hart y Burr, 1967). En zonas como Hawaii, en donde los vientos son fuertes y la disponibilidad de 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 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 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

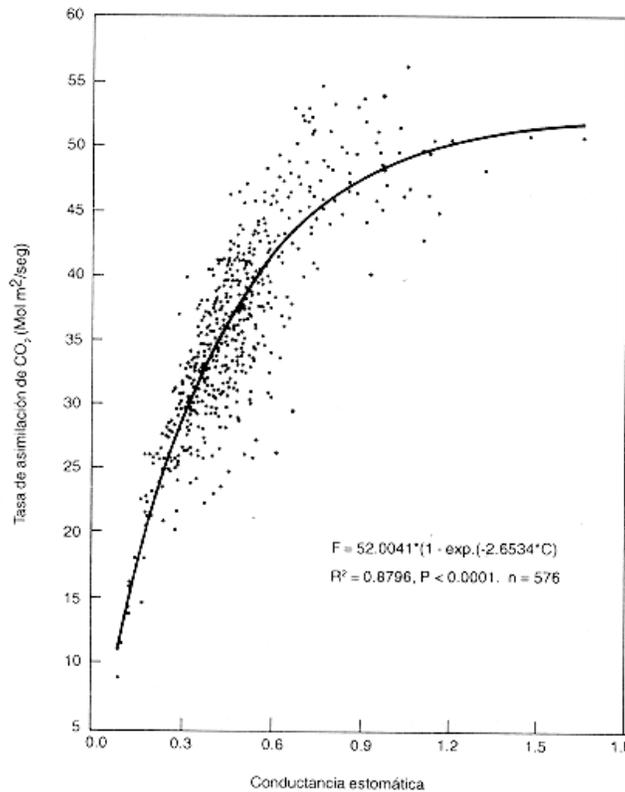


Figura 17. Relación entre la tasa de asimilación de CO_2 y la conductancia estomática en la caña de azúcar.

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.

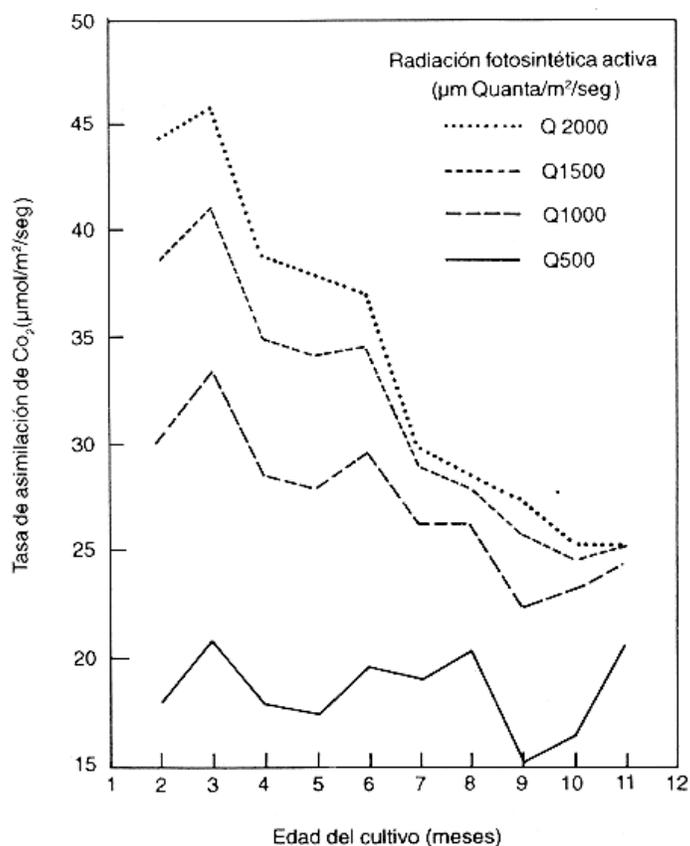


Figura 18. Fluctuación de la tasa de fotosíntesis con la edad del cultivo de la caña de azúcar.

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).

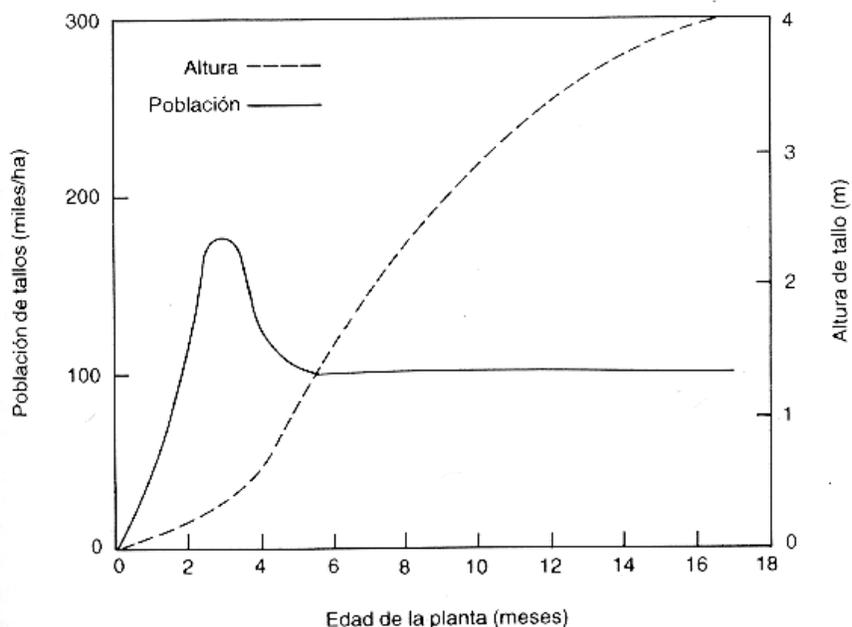


Figura 19. Cambios con la edad en la población y en la altura de la planta de caña de azúcar.

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

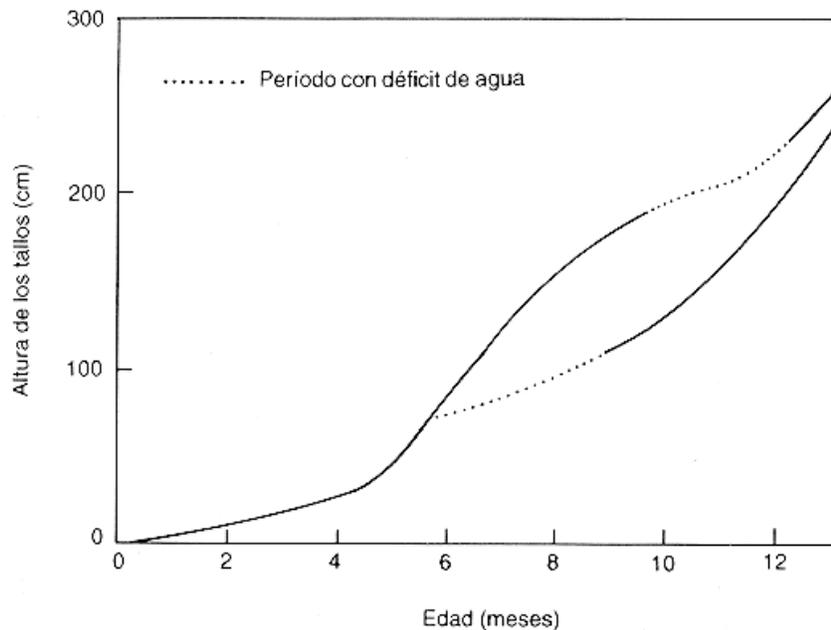


Figura 20. Efecto del déficit de agua sobre el crecimiento de la planta de caña de azúcar.

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 cm² 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 cm².

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 $\mu\text{moles de CO}_2/\mu\text{mol de H}_2\text{O/ha}$, lo que equivale a una relación de 6 a 7 toneladas de carbohidratos por cada 1000 m³ 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).

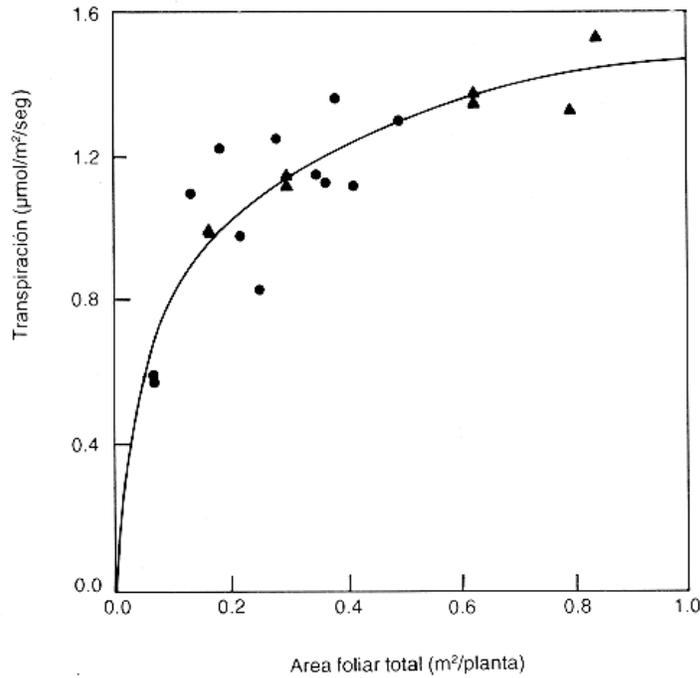


Figura 21. *Relación entre la tasa máxima de transpiración y el área foliar total para plantas de caña cultivadas en el campo (▲) y en el invernadero (●).* (Adaptado de: Meizner y Grantz, 1990).

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 C₄-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.

Mejoramiento Genético

Clímaco Cassalet Dávila y [Hernando Ranjel Jiménez*](#)

Introducción

La explotación comercial de la caña de azúcar a nivel mundial se inició con clones nobles de *Saccharum officinarum* y de *S. sinense*. En Colombia, este proceso se inició con la plantación de los clones Badila, Cristalina, Othaheiti, Castilla o Blanca, Cayanna, Rayada y Uba, entre otros. Duvick (1986) considera que más del 50% del aumento en la producción actual de la caña de azúcar se debe a la introducción de cultivares mejorados. Los clones de *S. officinarum* se reemplazaron en forma exitosa en Colombia por variedades de mayor producción como POJ 2878 la cual, a su vez, fue reemplazada por la variedad CP 57-603, altamente productora de caña y de azúcar. En muchos casos, la sustitución de una variedad se hace para resolver problemas fitosanitarios; por ejemplo, en el Valle del Cauca, la variedad MZC 74-275, resistente al carbón y al mosaico aunque susceptible a la roya, reemplazó a la variedad CP 57-603.

Las variedades extranjeras PR 61-632, V 71-51, y las variedades CENICAÑA Colombia (CC) han empezado a surgir en el sector azucarero colombiano, ya que combinan la resistencia al carbón, a la roya y al mosaico, con una alta producción de caña y de azúcar. Además, por la buena adaptación de algunas de estas variedades a suelos salinos, se están utilizando para reemplazar la variedad Co 421.

En Colombia, el mejoramiento de la caña de azúcar es reciente. En la década de los 30, la investigación se concentró en ensayos agronómicos con variedades importadas. En 1938 se inició el programa de cruzamientos y selección de variedades en la estación experimental Palmira, con énfasis en hibridación de clones nobles de *S. officinarum* y de caña silvestre (*S. spontaneum*). Las variedades obtenidas se identificaron con la sigla EPC (Estación Experimental Palmira Colombia). De éstas existen 143 en el banco de germoplasma en CENICAÑA, entre las que se deben mencionar las variedades EPC 38-122, 54-839, 72172 y 72174 por su contribución a la resistencia al mosaico en los cruzamientos realizados recientemente.

Entre 1962 y 1973, el gobierno colombiano, por intermedio del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), continuó los esfuerzos de investigación y se obtuvieron algunas variedades, entre las cuales sobresale la ICA 69-11. En la

* Clímaco Cassalet es Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Director del Programa de Variedades de CENICAÑA. Hernando Ranjel es Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Fitomejorador del Programa de Variedades de CENICAÑA, Apartado Aéreo 9138, Cali, Colombia.

actualidad existen 103 de estas variedades en el Banco de Germoplasma en CENICAÑA.

El potencial de producción de un cultivo está determinado por la relación entre la producción máxima obtenida y el promedio de producción de dicho cultivo en una zona. En Hawaii y Australia, por ejemplo, el potencial de la caña de azúcar fue, respectivamente, 1.5 y 2.0, mientras que en E.U. el potencial del maíz, el trigo, la soya y el arroz fue, respectivamente, 3.3, 5.6, 3.5 y 2.6. Esto indica que en las dos primeras regiones existe mayor dificultad para elevar la producción de la caña de azúcar que la existente en E.U. para el maíz o el trigo. Para el valle geográfico del río Cauca, las posibilidades no son mayores, ya que el récord conocido de producción de caña es de 240 t/ha por año y el promedio es de 125 t/ha por año, lo que resulta en una relación de 2:1. Sin embargo, lo anterior también indica que hay una distancia que es necesario reducir mediante el refinamiento de la producción comercial, a través de labores de campo o de reubicación de las áreas comerciales.

Tipo Varietal

La variedad ideal de caña de azúcar es aquella que responde favorablemente a las condiciones ambientales y a las necesidades de los agricultores, los trabajadores de campo y la industria. El fitomejorador busca, primero que todo, que las nuevas variedades se adapten a las condiciones edafológicas y de clima de la zona, para que puedan sobrevivir. Además de su adaptación, las variedades deben satisfacer una serie de requerimientos de parte de los agricultores, para hacer económica su explotación en el campo y en la fábrica. Son muchos los ejemplos que se pueden mencionar en este sentido; así, la variedad Co 421, que se adapta bien en suelos salinos, tiene desventajas para el agricultor y para las fábricas, ya que no satisface los requerimientos en cuanto a rendimiento.

Un alto porcentaje de las plantaciones de caña de azúcar se queman en el momento previo a la cosecha manual. En el futuro, la quema será menos frecuente o desaparecerá, el corte será mecánico, el suministro de agua será menor y el pago al agricultor se hará por la calidad de la caña, especialmente por su alto rendimiento. Teniendo en cuenta estos aspectos, se desarrollarán variedades para satisfacer las necesidades actuales y las inherentes a dichas variedades.

En el Cuadro 1 se resumen las características principales de las variedades de caña de azúcar que se usan actualmente y de las que se utilizarán en el futuro.

Formación y Liberación de Variedades

En caña de azúcar, los cultivares son clones de híbridos interespecíficos o de híbridos varietales, o clones de variedades originados por síntesis o por selección directa. Todos los cultivares, independientemente de la descripción técnica de su origen, se reconocen mundialmente como variedades.

Cuadro 1. **Principales características de las variedades de caña de azúcar en uso y de las que se utilizarán en el futuro.**

Variedades en uso	Variedades que se utilizarán en el futuro
Alta producción de biomasa (más de 10 t/ha por mes). Alto contenido de sacarosa (más de 0.9 t/ha por mes). Resistentes al carbón, a la roya y al mosaico. Erectas de tallo grueso, no quebradizas, sin yemas protuberantes ni hendiduras en el tallo. Con un contenido de fibra entre 13% y 15%, y menos de 20% de floración. En promedio, rinden una cosecha cada 13 meses.	Alta producción de biomasa y de azúcar. Porte bajo y altura uniforme de tallos con menos de 30 mm de diámetro, con hojas caducas. Plantas con buen macollamiento, menos exigentes en agua y fertilizantes. Algunas adaptadas a suelos marginales (húmedos, secos, salinos...). Deben rendir una cosecha por año y ser resistentes a enfermedades.

La obtención de una variedad requiere del trabajo integrado de genetistas, fitopatólogos, entomólogos y fisiólogos. De otra parte, para explotar mejor el potencial de los diferentes tipos de acción génica, es necesario saber combinar el recurso genético. No obstante lo anterior, un buen cultivar es el resultado de la configuración de las actividades metabólicas o morfológicas de estos genes y su interacción fisiológica positiva con ambientes específicos, que se manifiestan en la producción de caña y de azúcar y en la resistencia a plagas y enfermedades.

Las bondades del material genético se pueden calificar de maneras diferentes: (1) Tiene buen comportamiento en explotaciones comerciales, pero no produce buena progenie. (2) Puede ser bueno en la explotación y, al mismo tiempo, cumplir su ciclo, integrándose en forma exitosa al proceso de producción de nuevos cultivares. (3) Aunque no sea una variedad comercial, puede ser buen progenitor para la obtención de nuevos cultivares. Dentro de los dos últimos casos se distinguen materiales de dos categorías: con habilidad combinatoria general, y con habilidad combinatoria específica.

Las diferentes etapas que se siguen en CENICAÑA para formar una variedad, se basan en la fijación de caracteres desde el primer estado de selección, y en que los caracteres sobre los cuales descansa dicha selección sean heredables y repetibles.

La representación esquemática del sistema normal de selección muestra una fase genética y una fase de mantenimiento sanitario. En la primera, se espera que la manifestación de los genes permita la selección por productividad, adaptación ambiental y resistencia fitosanitaria lo cual, como se mencionó anteriormente, se debe mantener desde los cruzamientos hasta las pruebas regionales. El mantenimiento sanitario se inicia con la multiplicación de variedades y llega hasta la explotación comercial, que se considera como la fase final de la formación varietal (Figura 1).

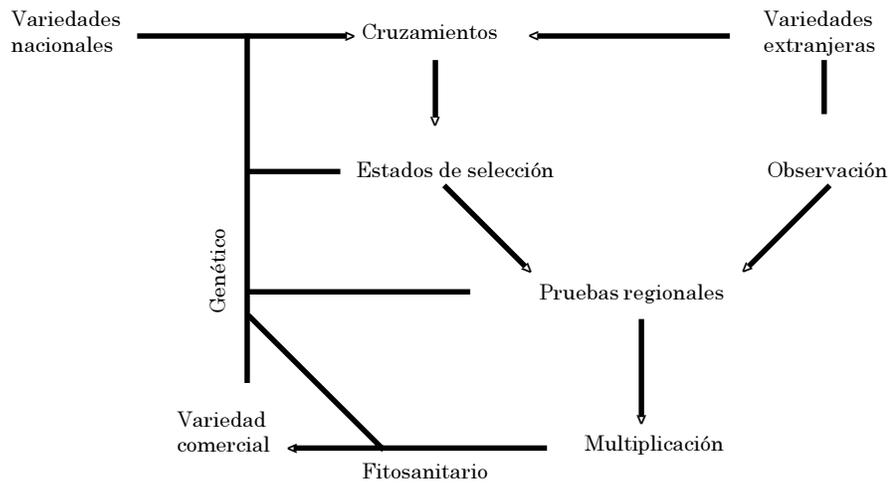


Figura 1. Esquema integral de formación de variedades en caña de azúcar.

Bases Genéticas del Mejoramiento

Heredabilidad de caracteres

La heredabilidad de un carácter puede variar desde baja hasta alta y su valor permite al fitomejorador desarrollar un esquema de mejoramiento para obtener la variedad deseada con mayor o menor prontitud. Este concepto de heredabilidad, ligado al de repetibilidad y a la asociación que puede existir entre caracteres, dan la confianza necesaria para continuar con los diferentes estados de selección.

Un estudio sobre la herencia de caracteres realizado en 10 poblaciones de caña (Cuadro 2) mostró que: (1) El número bajo de tallos por cepa, el diámetro delgado, la escasa altura de los tallos y la longitud corta de los entrenudos fueron dominantes. (2) Los caracteres: resistencia a volcamiento y ausencia de floración, mostraron dominancia completa. (3) El carácter pilosidad de la yagua presentó dominancia intermedia. (4) La concentración baja de sacarosa, expresada como porcentaje de jugo y de caña, fue dominante, lo mismo que el bajo peso y el alto contenido de fibra.

En el Cuadro 2 se observa también que la pilosidad de la vaina y la floración son monogénicas, mientras que la longitud del tallo y el volcamiento son digénicas. Desde el punto genético, estas características son fáciles de manejar en el proceso de mejoramiento varietal. Los caracteres restantes son poligénicos, lo cual significa un mayor grado de dificultad para su manejo, ya que en su comportamiento el ambiente juega un papel importante.

Cuadro 2. **Grado de dominancia y número de genes involucrados en el control de diferentes caracteres en 10 poblaciones de caña de azúcar. CENICANA, 1992.**

Carácter y tipo	Gd	Acción	No. de genes	Vf	Va	Vg
Tallos/cepa (escasos)	1.603	D	3	0.44	0.13	0.31
Diámetro del tallo (delgado)	1.558	D	5	0.15	0.04	0.11
Longitud del entrenudo (corto)	1.800	D	5	0.03	0.01	0.02
Longitud del tallo (corto)	2.195	D	2	0.18	0.05	0.13
Volcamiento (bajo)	1.265	C	2	2.07	0.71	0.36
Floración (auscule)	1.000	C	1	0.00	0.00	0.00
Pilosidad de la vaina (ausente)	1.497	I	1	0.15	0.00	0.15
Porcentaje de sacarosa en el jugo (bajo)	1.979	D	5	6.54	0.90	5.64
Porcentaje de sacarosa en la caña (bajo)	1.905	D	5	5.99	0.80	5.19
Porcentaje de fibra en la caña (alto)	1.765	D	4	1.38	0.50	0.88
Peso del tallo (poco)	1.817	D	4	0.38	0.20	0.18

Gd = Grado de dominancia. Acción de la dominancia: D = dominante; C = completa; I = intermedia.

Vf = Varianza fenotípica. Va = Varianza ambiental. Vg = Varianza genética.

La mayor varianza fenotípica (Vf) la presentaron el porcentaje de sacarosa, bien sea en jugo o en caña, seguido por el porcentaje de fibra y el volcamiento. Para los otros caracteres, la variación fue baja, lo que permite hacer la selección con mayor seguridad.

Las varianzas ambiental (Va) y genética (Vg) mostraron la gran influencia del ambiente en el volcamiento, el porcentaje de fibra y peso del tallo, pero no en el porcentaje de sacarosa, cuya variación está determinada principalmente por factores genéticos.

La heredabilidad de un carácter indica el tipo de mejoramiento que se debe seguir. La heredabilidad alta supone la contribución significativa de la variación genética aditiva. En CENICANA se ha observado que algunos clones tienen alta heredabilidad para floración, pilosidad de la vaina y volcamiento (Cuadro 3). Los valores de los otros caracteres indican, posiblemente, que la acción génica principal no es aditiva sino dominante.

Repetibilidad de caracteres

Falconer (1983) considera que en la caña de azúcar la repetibilidad puede ser clonal e individual. La primera es la correlación que presenta un carácter cuando un clon pasa de un estado de selección a otro. Este tipo de repetibilidad es importante en el proceso de selección. La repetibilidad individual es la correlación que presenta un determinado carácter de un clon a través de varias cosechas en el mismo sitio (ejemplo: plantilla vs. soca). Esta repetibilidad es de interés en términos de producción comercial.

En CENICANA se encontró una repetibilidad clonal altamente significativa ($r = 0.4$ a 0.7 ; $P < 0.01$) para el peso de la caña de azúcar en cuatro series de

Cuadro 3. Intervalos de heredabilidad de varios caracteres en 10 progenies híbridas de caña de azúcar. CENICANA, 1992.

Carácter	Intervalo de heredabilidad		Promedio
Número de tallos/cepa	17	35	27
Diámetro del tallo	13	35	27
Longitud del entrenudo	17	39	27
Longitud del tallo	12	57	28
Volcamiento	7	100	42
Floración		100	100
Pilosidad de la vaina	33	100	67
Porcentaje de sacarosa en el jugo	18	34	29
Porcentaje de sacarosa en la caña	20	35	29
Porcentaje de fibra en la caña	16	39	27
Peso del tallo	12	25	19

formación varietal, cuando se midió el número de tallos o el peso de la caña. Tanto el brix en el primer caso como la producción de azúcar en el segundo, presentaron una repetibilidad altamente significativa ($r = 0.2$ a 0.9 ; $P < 0.01$) (Cuadro 4). La repetibilidad (r) clonal del diámetro del tallo y del porcentaje de fibra fue alta y varió desde $r = 0.5$ hasta $r = 0.8$ para el primero; y desde $r = 0.4$ hasta $r = 0.8$ para el segundo (Cuadro 5).

Las repetibilidades clonales encontradas dan una alta confiabilidad al proceso de selección para la formación de variedades CENICANA. Las altas repetibilidades individuales encontradas son una gran ayuda en el proceso de selección, ya que lo que se mide en la plantilla es extrapolable a las socas, como lo confirman las correlaciones que aparecen en el Cuadro 6.

Lo anterior también se confirmó en un estudio para determinar el modelo de selección (Figura 2). La repetibilidad del peso de la caña en plantilla del estado I (1.1) hasta la tercera soca del mismo estado (1.4), varió desde $r = 0.35^{**}$ hasta $r = 0.78^{**}$; en el estado II (21) varió desde $r = 0.72^{**}$ hasta $r = 0.75^{**}$; y en el estado

Cuadro 4. Repetibilidad clonal del peso de la caña y del rendimiento de azúcar en cuatro series de selección de variedades CC de caña de azúcar. CENICANA, 1990.

Series de selección	Estados de selección ^a		
	I vs. II	II vs. III	III vs. IV
1982	0.4** 0.4**	0.4** 0.4**	0.5** 0.2**
1983	0.5** 0.4**	0.4** 0.4**	0.7** 0.9**
1984	0.3** 0.2**	0.4** 0.3**	—
1985	0.2** 0.4**	0.5** 0.4**	—

a. La primera columna corresponde al peso de caña, que en el estado I está dado por el número de tallos. La segunda columna corresponde a producción de azúcar, que en el estado I está dada por el brix.

** = $P < 0.01$.

Cuadro 5. Repetibilidad clonal del diámetro del tallo y del porcentaje de fibra en cuatro series de selección de variedades CC de caña de azúcar. CENICAÑA, 1990.

Series de selección	Estados de selección ^a		
	I vs. II	II vs. III	III vs. IV
1982	—	0.7 0.4	0.8 0.8
1983	—	0.6 0.5	0.8 0.8
1984	0.5 0.6	0.5	—
1985	0.6 0.5	0.6	—

a. La primera columna corresponde al diámetro del tallo. La segunda columna corresponde al porcentaje de fibra.

Cuadro 6. Correlaciones entre cuatro caracteres de la plantilla y la primera soca de variedades CC de caña de azúcar. CENICAÑA, 1990.

Carácter	Correlación
Peso de la caña	0.72**
Azúcar recuperable estimado	0.79**
Porcentaje de fibra	0.87**
Volcamiento	0.97**

** = P < 0.01.

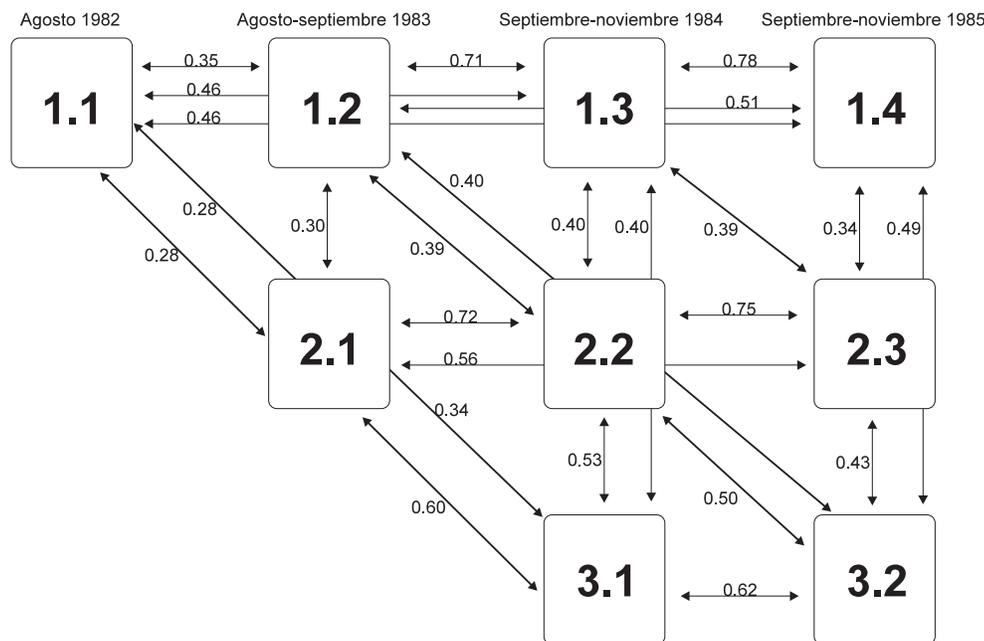


Figura 2. Correlaciones entre estados de selección y fechas de cortes para la determinación del peso en caña de azúcar, en el modelo de selección CENICAÑA. El primer número del dígito dentro de cada cuadro corresponde a un estado y el segmento al número del corte. Todas las correlaciones son significativas (P < 0.05).

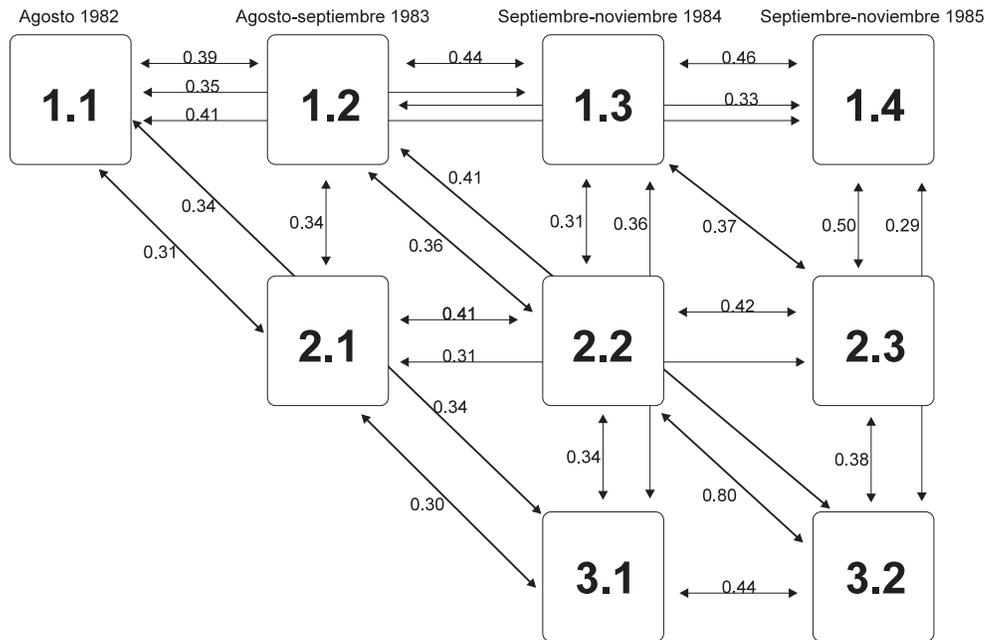


Figura 3. Correlaciones entre estados de selección y fechas de corte para la determinación del azúcar recuperable estimado (ARE), en el modelo de selección CENICAÑA. El primer número del dígito dentro de cada cuadro corresponde a un estado y el segundo al número del corte. Todas las correlaciones son significativas ($P < 0.05$).

III (31) fue $r = 0.62^{**}$. En la Figura 3 se observa que aun cuando los valores de repetibilidad para el azúcar recuperable estimado (ARE) son más bajos que los encontrados para el peso de la caña, también son altamente significativos.

Proceso de Selección en Caña de Azúcar

Líneas endocriadas

La producción de líneas endocriadas es un recurso que se ha explorado para obtener vigor híbrido en los cruzamientos. El cultivo de anteras inmaduras es una forma rápida de obtener líneas homocigóticas. En Hawaii se han obtenido plantas haploides y dihaploides con la técnica de cultivo de anteras; no obstante, la pérdida de vigor y de fertilidad son altas. Para evitar esta última situación, en CENICAÑA se ha iniciado la producción de líneas de caña por autopolinización. Posteriormente, estas líneas endocriadas se entrecruzan.

Cruzamientos

La producción de fruto por la vía sexual —tipo cariósida— es la base del proceso de obtención de variedades en caña de azúcar.

En CENICAÑA, después de varios años de efectuar cruzamientos, se estableció un programa sistematizado para la selección de los progenitores. Los caracteres que se involucran en esta selección aparecen en el Cuadro 7. La calificación 1 corresponde a una buena característica, mientras que 9 corresponde a un comportamiento pobre. La sumatoria de los valores de calificación de cada carácter en ambos progenitores no debe ser mayor de un valor determinado previamente; de lo contrario, el programa lo rechaza.

Las variedades escogidas como progenitores para cruzamientos pertenecen a cualesquiera de los seis grupos conformados para tal efecto. Los seis grupos se denominan élite por su alta concentración de sacarosa, porte erecto, alto grado de deshoje, buena adaptación a suelos húmedos y a suelos salinos.

Este sistema de formación de grupos por características específicas es una metodología importante en la selección de progenitores, ya que permite al fitomejorador observar la característica básica del grupo, además de otras cualidades o defectos que presente. Por lo tanto, el número de variedades que conforma cada grupo puede cambiar, ya sea por la inclusión de nuevas variedades o la eliminación de algunas por presentar defectos que demeritan su calidad como progenitor.

Metodología de cruzamiento. Los cruzamientos se realizan en la estación experimental San Antonio (de CENICAÑA), localizada en el Valle del Cauca, a 3° 30' de latitud norte y 76° 19' de longitud oeste; y en el Centro Regional de Investigaciones (CI.) ICA-Caribia, localizado a 11° 30' de latitud norte. Ambos sitios tienen foteríodos diferentes, como se aprecia en la Figura 4.

Los cruzamientos en la estación experimental se hacen en la casa de foteríodo, mientras que en el CI. ICA-Caribia se realizan en el campo. En la primera existen 109 variedades con las cuales se pueden hacer infinidad de cruzamientos dialélicos usando cada grupo en forma independiente y sin necesidad de emplear el programa del computador, y 168 variedades que no florecen. En

Cuadro 7. **Calificación de los caracteres usados para cruzamientos en variedades de caña de azúcar. CENICAÑA.**

Carácter	Calificación ^a	Nivel crítico de calificación ^b
Toneladas de caña/ha	1 - 5	6
Rendimiento	1 - 5	5
Diámetro del tallo	1 - 5	7
Volcamiento	1 - 5	5
Floración	1 - 5	6
Mosaico	1 - 9	10
Carbón	1 - 9	10
Roya	1 - 9	10

a. 1 = sobresaliente; 5 = pobre; 9 = muy pobre.

b. Sumatoria máxima de la calificación de los progenitores seleccionados.

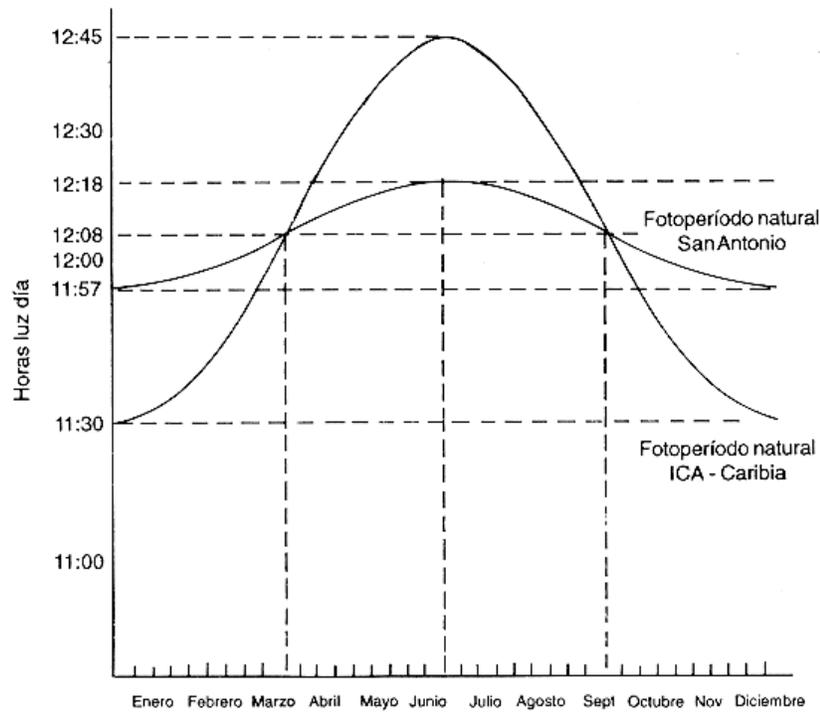


Figura 4. Fotoperíodos en la estación experimental San Antonio y en el Centro Regional de Investigaciones ICA-Caribia, Colombia.

el CI. ICA-Caribia hay 67 variedades en los grupos: alta sacarosa, sacarosa temprana y élite.

Los estudios sobre la cantidad de plántulas necesarias para representar un cruzamiento son escasos. Algunos investigadores sugieren 40 plántulas y otros 200. En realidad, la mayoría de los investigadores acumula, por cruzamiento, a través de los años, un número de plántulas que varía entre 2000 y 2500. En maíz, por ejemplo, el análisis de progenie se hace en función de familia y no de genotipos individuales; en este caso, se considera que 80 plantas cultivadas en parcelas de 2 m x 10 m, son suficientes para representar un cruzamiento. En CENICAÑA se considera que 2500 plántulas acumuladas en diferentes períodos, son suficientes para el análisis genético completo de un cruzamiento, debido a la condición poliploide de la caña de azúcar y a que sus cromosomas varían, en promedio, entre 80 y 120.

La semilla de cada cruzamiento se siembra en bandejas de germinación que contienen suelo esterilizado. El número de cruzamientos que se siembra cada año depende de la cantidad de semilla disponible, sin sobrepasar de 1000 plántulas por

cruzamiento. Después de la germinación, las plántulas permanecen en las bandejas durante 45 días y se inoculan con una suspensión del mosaico de la caña; posteriormente, se trasplantan a la terraza para plántulas en donde permanecen 2 meses, tiempo durante el cual se inoculan en forma natural con el hongo que produce la roya. Antes del trasplante en el campo, se eliminan las plántulas susceptibles a esta enfermedad y al mosaico. Las siembras de las plantas resultantes de los cruzamientos se hacen en proporciones iguales en la estación San Antonio y en el Ingenio Sancarlos (Valle del Cauca).

Selección clonal

La selección gamética en maíz fue propuesta por Stadler en 1944, como un sistema para aislar gametos superiores y, de esta manera, producir mejores líneas endocriadas. El método consiste en cruzar una línea endocriada sobresaliente con una variedad. En caña de azúcar, cualquiera que sea el método que se siga después de un cruzamiento, este cae, casi siempre, en un esquema de selección gamética al hacer la separación de clones sobresalientes. En esta separación, cada clon representa una combinación de gametos que en algunos casos puede ser única. Normalmente no hay evaluación de familia, aunque el programa de mejoramiento de caña del Bureau of Sugar Experiment Stations (BSES, sigla en inglés), de Australia, sí hace esta evaluación en el estado I de selección para eliminar los cruzamientos más pobres, y posteriormente sobre la soca continuar con el aislamiento clonal en las familias superiores.

La obtención de una buena variedad de caña de azúcar requiere 10 años como mínimo, que van desde el momento del trasplante de las plántulas en el campo hasta la finalización de las pruebas regionales y la distribución de la semilla. En el sistema utilizado en CENICANA no hay selección en las socas debido a que: (1) la selección no se hace en función de familia, sino de clones que representan la combinación específica de un par de gametos; (2) la parte genética de los caracteres se fija desde el estado I de selección; y (3) existe un control eficiente del ambiente, lo cual permite eliminar en forma rápida el mayor número de clones indeseables o con poca probabilidad de llegar a ser variedades comerciales. Los pasos que se siguen en este sistema aparecen en la Figura 5.

Estado I o de plántulas. La densidad de siembra que se utiliza en este estado se determinó después de un estudio sobre el efecto que ésta tiene en los caracteres que se desean seleccionar. Una alta densidad entre plántulas favorece la selección por contenido de azúcar, pero no para el número y el diámetro del tallo, ni para la floración (Cuadro 8). Lo anterior crea una dualidad entre seleccionar por azúcar o por peso. Se decidió por azúcar; así, las plántulas se siembran distanciadas entre 30 y 40 cm. Cuando las plántulas se siembran sin competencia, se seleccionan dos veces más plantas que en la siembra con alta competencia. La producción en toneladas de caña por hectárea (TCH), azúcar recuperable estimado (ARE) y azúcar por hectárea (TAH) de los clones seleccionados que llegaron al estado III, fue mayor en las plantas establecidas entre 25 y 50 cm de distancia.

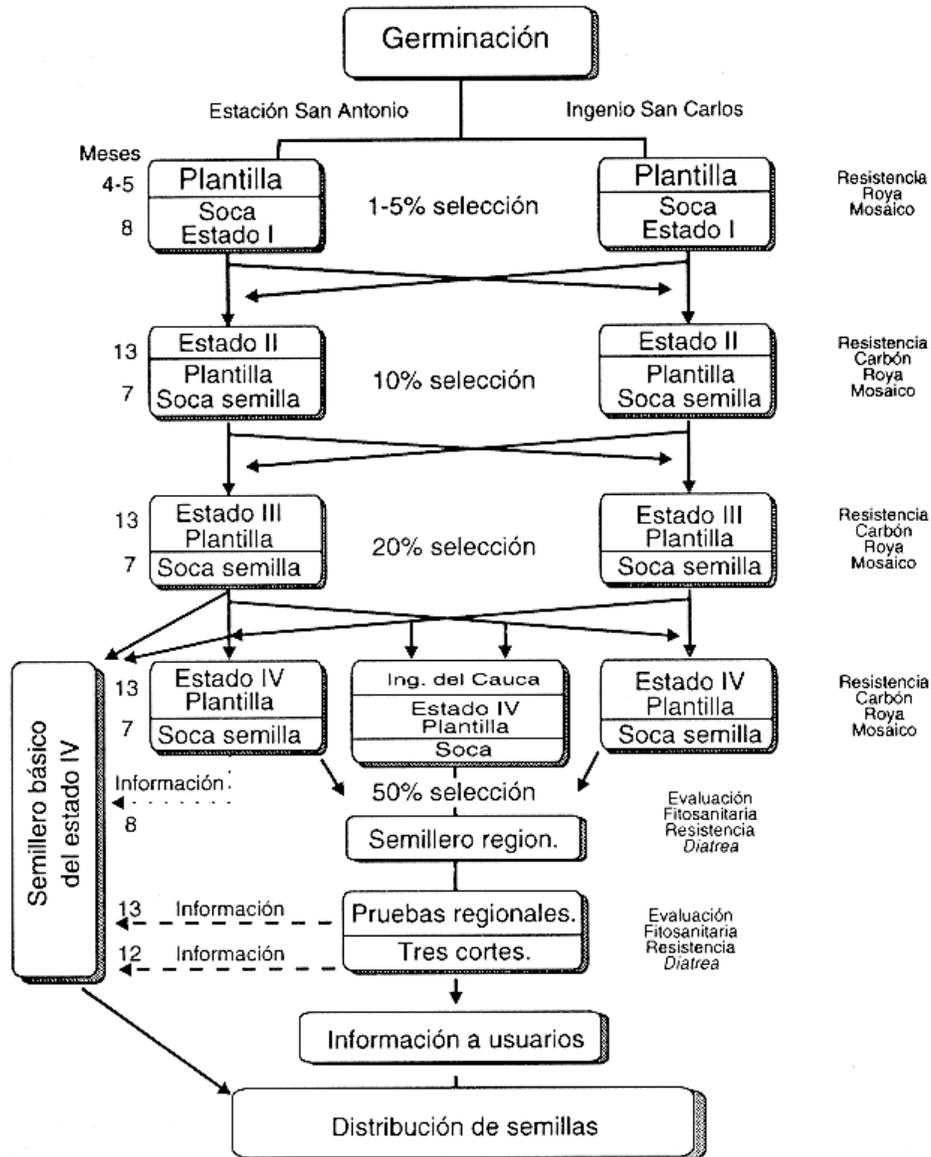


Figura 5. Esquema convencional de selección CENICAÑA para variedades de caña de azúcar.

Cuadro 8. Efecto de la densidad de siembra en la calidad y en el número de clones seleccionados de caña de azúcar. CENICANA, 1987.

Distancia entre plántulas (m)	Floración (%)	Brix (%)	Diámetro del tallo (m)	Tallos/m (no.)	Clones seleccionados (No.)
1.40	20.1	18.6	31	15	117
0.75	18.7	19.5	30	11	89
0.50	14.6	19.5	30	10	64
0.25	9.5	20.5	28	7	52

El estado I comprende la siembra de más de 100,000 plántulas en la estación San Antonio y en el CI. ICA-Caribia. La distancia entre plántulas es de 40 a 50 cm y entre surcos de 1.50 m. Cada nueve surcos se planta por medio de yemas una variedad testigo, la cual sirve para comparar el contenido de azúcar, el tipo de tallo y la susceptibilidad a volcamiento. Las plántulas se cortan a los 4 ó 5 meses. Posteriormente —a los 8 meses después del rebrote— se seleccionan en la soca las plántulas que son resistentes a carbón, roya y mosaico; tienen buena producción de tallos; alto valor de brix; no florecen; no son susceptibles a volcamiento y tienen un buen deshoje. De las plántulas seleccionadas se obtiene suficiente material vegetativo para hacer un ensayo con cada genotipo seleccionado e iniciar, de esta manera, el estado II de la selección.

Estado II. En él se tienen dos repeticiones, una de ellas conformada por el material seleccionado en el sitio, y la otra por el material proveniente de otro sitio de selección. Estos materiales se plantan en parcelas de un surco de 4 m de largo. En la estación San Antonio, una de estas repeticiones se inocula con carbón. La cosecha de la plantilla se hace a los 13 meses de edad y en ella se evalúan el peso, el rendimiento de azúcar, el volcamiento, el deshoje, el porcentaje de floración y la resistencia a roya, mosaico y carbón. La soca de los clones seleccionados se cosecha a los 7 meses de edad, para obtener el material vegetativo de siembra y continuar con el estado III de la selección.

Estado III. Los materiales que se seleccionan en el estado II se plantan en la estación San Antonio y en el Ingenio Sancarlos, en parcelas de cuatro surcos y 10 m de largo, repetidas dos veces. De nuevo, una de las repeticiones en la estación San Antonio se inocula con carbón.

La cosecha de estos materiales se hace a los 13 meses de edad y, adicionalmente a las mediciones que se hacen en el estado II, se determina el porcentaje de fibra (Cuadro 9). La soca de los clones seleccionados se cosecha a los 7 meses de edad para obtener el material vegetativo de siembra y continuar con el estado IV de selección.

Estado IV. Los materiales en este estado se plantan en los dos sitios anteriores y en un suelo húmedo en el Ingenio del Cauca. En este estado, en la estación San Antonio se dispone de cuatro repeticiones, y en los Ingenios Sancarlos y del Cauca de tres repeticiones. En los tres sitios, las parcelas son de

Cuadro 9. **Promedio de producción de caña y de azúcar de los clones en el estado III de selección y que corresponden a los clones seleccionados en el estado I. CENICAÑA, 1990.**

Distancia entre plántulas (m)	Caña (t/ha)	Azúcar recuperable (t/ha)	Azúcar (t/ha)
1.40	207	10.3	21.3
0.75	209	9.7	20.3
0.50	218	10.5	22.9
0.25	210	11.5	24.2

seis surcos de 10 m de largo. Para la selección se hacen las mismas evaluaciones que en el estado III. De igual manera, se deja la soca hasta los 7 meses de edad para obtener el material vegetativo que se utiliza en el establecimiento de los semilleros regionales.

Semilleros regionales

En este momento se entregan a los ingenios entre 200 y 300 yemas de cada una de las variedades seleccionadas en el estado IV. El objetivo es observar el comportamiento sanitario y agronómico de las variedades a nivel de los ingenios y producir suficiente material para el establecimiento de pruebas regionales en cada uno de ellos. La información obtenida se evalúa en forma conjunta con los investigadores del ingenio, para seleccionar las variedades que conformarán las pruebas regionales.

Pruebas regionales de variedades

Estas pruebas se establecen en los diferentes ambientes que existen en las áreas de producción azucarera del valle geográfico del río Cauca. Cada prueba tiene cinco repeticiones, una de las cuales se utiliza para medir la maduración de las variedades. La plantilla se cosecha a los 13 meses y las socas a los 12 meses. En cada cosecha se determinan la incidencia de enfermedades y plagas, la producción de caña por hectárea, el rendimiento de azúcar, la "resistencia" a volcamiento, la floración y el porcentaje de fibra. Los datos anteriores sirven para informar a los ingenios y productores sobre las características de las variedades probadas en forma regional. Por último, CENICAÑA pone a disposición de cada ingenio alrededor de 80 toneladas de material vegetativo de las mejores variedades.

Semillero básico

En el estado IV se seleccionan las variedades para establecer el semillero básico. Al inicio se hace un tratamiento térmico con agua caliente a 50 °C. A medida que avanza el proceso de selección en el estado IV, en la plantilla y en la primera soca de las pruebas regionales, se eliminan en el semillero básico las

variedades menos promisorias en cada etapa de multiplicación y tratamiento térmico. Con base en los resultados obtenidos en la plantilla de las pruebas regionales, el área de cada variedad seleccionada se aumenta de 0.5 a 4 ha, de tal forma que coincida su edad al corte con la cosecha de la primera soca de las pruebas regionales. En los semilleros básicos sólo se cortan la plantilla y la primera soca, después de lo cual se destruye la plantación.

Selección recurrente

Este método de selección se emplea en forma intensiva en muchos cultivos, especialmente en las gramíneas. Según Hallauer (1991), el método ha variado desde la selección masal fenotípica hasta el uso de poblaciones de hermanos medios, hermanos completos y líneas endocriadas, como unidades de selección. En una planta de polinización cruzada como la caña de azúcar, las varianzas genética aditiva y no aditiva son de importancia para alcanzar un mejoramiento genético efectivo. Vogel et al. (1989) consideran que los efectos genéticos no aditivos aún no han sido explotados, a pesar de que en muchas gramíneas existe suficiente heterosis para producción.

La selección recurrente consiste en entrecruzar varias poblaciones, seleccionar las progenies sobresalientes y entrecruzarlas para generar nuevas progenies, y así sucesivamente por varias generaciones. Este método de selección se ha utilizado en caña de azúcar para aumentar la frecuencia de genes favorables para determinado carácter sin disminuir su variabilidad, haciendo uso de la acción genética aditiva y no aditiva que tiene este cultivo (Figura 6).

Recientemente se inició la formación de dos poblaciones con alta producción de azúcar, una por el sistema de entrecruzamiento de clones destacados, selección y nuevos entrecruzamientos, y la otra por el sistema de integración de subpoblaciones con variedades próximas genéticamente, las cuales posteriormente se entrecruzan por pares hasta obtener una sola población.

La dificultad que existe en caña de azúcar para el manejo de las progenies no permite la selección recurrente por habilidad combinatoria general o específica, en donde se utiliza como probador una variedad o una línea endocriada relativamente estable. En consecuencia, se usa un método de recurrencia cerrada, como se observa en la Figura 6.

Retrocruzamiento o cruce recurrente

Este sistema, que es ampliamente utilizado en muchos cultivos, se emplea poco en caña de azúcar. No obstante, en CENICAÑA se está usando con bastante intensidad. Básicamente, el proceso incorpora genes de una población a otra con la recuperación del genotipo del padre recurrente, manteniendo los genes del padre donante. En cada una de las etapas de cruzamiento del sistema, se pueden separar algunos clones sobresalientes con méritos suficientes para su liberación como variedades. El proceso se puede continuar hasta llegar a recuperar 100% del genotipo del padre recurrente, pero en caña de azúcar, debido a su modalidad clonal, sólo es posible recuperar hasta 87.5% de su genotipo.

Mejoramiento Genético

El sistema también sirve para la formación de poblaciones de interés específico. Su efectividad se está evaluando en CENICAÑA mediante la formación de una población con alto contenido de sacarosa. Los clones que se usan como recombinantes en cada ciclo se escogen con base en el promedio más una desviación estándar. Con este sistema se ha logrado, en el primer ciclo, elevar el brix en 7%.

Un ejemplo de mejoramiento por el método de cruzamiento recurrente, realizado en CENICAÑA, es el caso de la variedad Mex 64-1487 de buena producción de azúcar y de caña, pero que presenta alto volcamiento, lo que ha limitado su expansión como variedad comercial. Para corregir este problema, se iniciaron cruzamientos con las variedades erectas CP 57-603, PR 61-632 y CC 83-29. Después de analizar 9080 progenies F_1 , se seleccionaron 38 que se cruzaron con el padre recurrente (Mex 64-1487). En el Cuadro 10 se observa que en esta generación ya se tienen algunos clones con poco o ningún volcamiento y buen contenido de azúcar, tal como ocurre con el padre recurrente.

Cuadro 10. **Mejoramiento de la variedad de caña Mex 64-1487 por medio de retrocruzamientos con las variedades CP 57-603 y PR 61-632. CENICAÑA.**

Genealogía	Clon (no.)	Brix (%)	Plantilla: en surco de 4 m		
			Volcamiento ^a	Caña (t/ha)	Fibra (%)
Mex 64-1487 x CP 57-603	MCP 25	20.6	1	13.9	13.4
Mex 64-1487 x CP 57-603	MCP 32	21.6	2	14.3	13.1
Mex 64-1487 x CP 57-603	MCP 16	20.6	1	12.7	14.0
Mex 64-1487 x CP 57-603	MCP 28	20.4	2	13.2	13.3
Mex 64-1487 x PR 61-632	MPR 3	19.0	2	12.5	12.6
	MPR 6	20.6	2	13.8	13.9
	MPR 15	20.6	2	11.6	11.6
Padres:					
Mex 64-1487	—	21.0	4	13.6	12.3
CP 57-603	—	19.4	2	13.2	14.0
PR 61-632	—	18.0	1	12.8	13.6

a. Susceptibilidad a volcamiento: 1 = poco o ningún volcamiento, 5 = 50% o más de volcamiento.

Perspectivas para el Mejoramiento en Caña de Azúcar

La biotecnología ofrece grandes posibilidades para acelerar los procesos de mejoramiento con la incorporación, a voluntad, de genes derivados de *Saccharum* o de otra entidad biológica. Las variaciones somaclonales producidas por el cultivo in vitro, o las que se pueden inducir en él, así como la detección inmediata del gene que se transfiere en los retrocruzamientos, son herramientas útiles que el

mejorador deberá usar en el futuro. El mapa genético con marcadores moleculares será la piedra angular en el desarrollo biotecnológico de la caña de azúcar.

En el análisis molecular, los alelos se identifican con fragmentos de diferentes longitudes que tienen secuencias homólogas en las bases. El análisis de polimorfismo con longitudes de fragmentos de restricción (RFLP), es uno de los sistemas conocidos en el mapeo molecular de los genes.

Una vez que se conoce la secuencia de bases de un gene, se puede determinar con un marcador molecular su presencia en cualesquiera de los pasos del sistema de mejoramiento, sin tener en cuenta la presencia o ausencia de una manifestación fenotípica. Teóricamente, algunos investigadores consideran que con la ayuda del RFLP en un tercer retrocruzamiento, se podría recuperar el 100% del genoma del padre recurrente. También consideran que, si un gene deseable está estrechamente ligado con uno indeseable en 1 centiMorgan, por el sistema convencional de retrocruzamientos se necesitarían hasta 100 generaciones para producir la segregación, mientras que con la ayuda del RFLP sólo se necesitarían dos generaciones. Otro método usado de mapeo de genes es el RAPD's.

Herramientas adicionales para el mejoramiento en caña de azúcar son: la regeneración de plantas a partir de protoplastos, y el cultivo de meristemos. La primera ha sido difícil de realizar en las gramíneas, pero recientemente se han logrado grandes avances en algunas especies con este sistema. El cultivo de protoplastos permitirá la hibridación somática y facilitará la transferencia de genes.

En el cultivo de meristemos se pueden presentar variaciones genéticas estables, conocidas como variaciones somaclonales que, si son favorables, se pueden aprovechar por medio de la propagación vegetativa.

Referencias

- Artschwager, E. y Brandes, E. W. 1958. Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). Origin, classification, characteristics and descriptions of representative clones. Agriculture handbook no. 122. Washington, D.C. 307 p.
- Beltrán, E. H. 1984. Ayer, hoy y mañana de la caña de azúcar en Colombia. Cali, Colombia. 153 p.
- Cassalett, C. y Pizza, L. F. 1990. Repetibilidad clonal en cuatro series de selección. En: Memorias del Tercer Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Cali, Colombia. p. 21-28.
- _____ y Amaya, A. 1984. Obtención de variedades colombianas de caña de azúcar. En: Memorias del Primer Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Cali, Colombia. p. 1-9.

Mejoramiento Genético

- _____; Ranjel, H.; y León, E. 1984. Selección masal. Un mecanismo fácil de mejoramiento y su utilización en la caña de azúcar. En: Memorias del Primer Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Cali, Colombia. p. 11-22.
- Cock, J.; Cassalet, C.; Ranjel, H.; y Luna, C. A. Variedad Caña 2.010. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA), Cali, Colombia. Serie informativa no. 17. 12 p.
- Duvick, D. N. 1986. Plant breeding, past achievements, and expectations for the future. *Econ. Bot.* 40: 289-297.
- Falconer, D. S. 1983. Introducción a la genética cuantitativa. Continental, México. 430 p.
- Hallauer, A. R. 1991. Use of genetic variation for breeding populations in cross-pollinated species. En: *Plant breeding in the 1990s*. p. 37-67.
- Heinz, D. J. 1987. Sugarcane improvement: Current productivity and future opportunities. En: *International Sugarcane Breeding Workshop*. Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo (COPERSUCAR), Piracicaba, SP, Brasil. p. 55-70.
- Moore, P. H. e Irvine, J. E. 1991. Genomic mapping of sugarcane and its potential contribution to improvement and to selection of new varieties. *Proceedings. South African Sugar Technologist Association (SASTA)*. p. 96-102.
- Salazar, F. 1992. Estimación de parámetros genéticos de varianza y acción génica en algunas poblaciones híbridas de caña de azúcar. Tesis. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cali, Colombia.
- Stadler, L. J. 1944. Gamete selection in corn breeding. *J. Am. Soc. Agron.* 36:988-989.
- Vogel, K. P.; Gors, H. J.; y Haskins, F. A. 1989. Breeding grasses for the future. En: *Contributions from breeding forage and turf grasses*. CSSA Spec. Publ. no. 15. Crop Science Society, Madison. p. 105-122.
- Viveros, C. y Cassalet, C. 1991. Metodología de programación de cruzamientos para caña de azúcar en CENICAÑA. En: *Memorias del Segundo Congreso de ATALAC*. Ciudad de México, México. p. 57-67.

Adecuación de Tierras

Ricardo Cruz V. y Oscar Mario López*

Introducción

La adecuación de tierras es una de las labores más importantes en el cultivo de la caña de azúcar; por una parte, demanda una alta inversión inicial —aproximadamente el 22% de los costos totales de una plantilla— y por otra, con ella es posible: (1) Suministrar agua para riego y drenar los excesos de ésta en el suelo. (2) Mejorar la eficiencia del riego, de los equipos y del personal involucrado en las labores de campo. (3) Incrementar la productividad del cultivo. (4) Acondicionar las vías para el transporte rápido y seguro de la caña hasta la fábrica.

Por las razones anteriores, esta labor se considera básica para la producción y, por lo tanto, debe ser planeada, diseñada y ejecutada por un equipo de personas especializadas.

En este capítulo se describen las prácticas y los procedimientos que se utilizan en la adecuación de tierras para el cultivo de la caña de azúcar, estos comprenden: estudios básicos, diseño de campo, nivelación del terreno, infraestructura hidráulica y de vías, programación de labores y costos de adecuación.

Estudios Básicos

Incluyen los estudios de suelos, topográficos, de oferta y demanda de agua para riego, de drenaje, de selección de métodos de riego, y de vías y estructuras hidráulicas necesarios para el diseño de campo.

Estudio de suelos

Este estudio contiene el plano con las series de suelo y las características físicas y químicas principales, tales como: textura; estructura; constantes de humedad; densidad aparente; infiltración; conductividad hidráulica y eléctrica; pH; capacidad de intercambio catiónico; y contenidos de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y elementos menores. Asimismo incluye las recomendaciones sobre uso y manejo del suelo.

* Ricardo Cruz es Ingeniero Agrícola, MSc. en Manejo de Aguas. CENICAÑA, Apartado Aéreo 9138, Cali, Colombia. Oscar Mario López es Ingeniero Agrónomo del Ingenio del Cauca, Apartado Aéreo 6705, Cali, Colombia.

Estudio topográfico

Incluye áreas y planos sobre la localización y la altura de las infraestructuras civil e hidráulica, patios de transbordo, fábrica, vías, canales, linderos permanentes, cauces naturales y curvas a nivel.

Estudio de riego

El estudio de riego debe ser un verdadero plan maestro que incluya los balances entre la oferta y la demanda de agua, suficientes para calcular su déficit o exceso en el área. Debe contener los proyectos de desarrollo de aguas, embalses, pozos, estaciones de bombeo, bocatomas, conducciones abiertas y por tubería, obras menores, selección de los métodos de riego y requisitos para su operación, número aproximado de riegos por temporada, intervalos entre riegos, volúmenes de agua por riego, tiempos de operación, caudal equivalente o módulo de riego operativo, caudales de entrega, programación de riegos, pendientes y longitudes de surco requeridas.

Estudio de drenaje

Constituye un complemento a los estudios de riego e incluye la medición de la profundidad de los niveles freáticos, las fuentes de recarga y los obstáculos para la descarga que puedan causar un problema de drenaje en el área del proyecto. En él se deben incluir los métodos de drenaje superficial y subterráneo, y las necesidades de subsolado y construcción de drenes topo para el mejoramiento de la infiltración y la conductividad hidráulica.

Diseño de Campo

El diseño de campo es el proceso mediante el cual se realiza la división del área del proyecto en sectores, suertes y tablonces; incluye los cálculos y los planos de localización y diseño de la infraestructura de riego, drenaje, vías, y longitud y dirección de los surcos.

Terminología

Los términos más comunes que se utilizan en el diseño de campo son:

Sector. Es una parte del predio que se delimita teniendo en cuenta la topografía, la dotación de agua, las vías principales, los drenajes profundos y los accidentes naturales.

Suerte. Es la unidad parcelaria en que se divide una hacienda, finca o predio sembrado en caña de azúcar; por lo general, tiene forma regular y se encuentra delimitada por callejones, carreteras y canales, cuya superficie puede abarcar desde 1 hasta 25 ha, o más.

Tablón. Es una subdivisión de la suerte, delimitada también por callejones menores, canales y acequias de riego o drenaje.

Las dimensiones más comunes de los tablones varían entre 200 y 600 m de largo x 100 a 250 m de ancho.

Callejón. Es una franja de terreno dentro del cultivo que sirve como vía de acceso y para el transporte de la caña.

Estaciones de transbordo. Son áreas, aproximadamente de 0.25 ha, ubicadas en forma paralela a las carreteras principales en haciendas o predios que distan más de 12 km de la fábrica. En ellas se hace el transbordo de la caña cosechada, desde vagones convencionales o de autovolteo a las tractomulas.

Canales principales. Coducen grandes volúmenes de agua y se encuentran a nivel de varias fincas o haciendas.

Canales primarios. Son aquéllos que suministran o evacúan agua a nivel de la hacienda o del predio.

Canales secundarios. Parten de un canal primario y sirven para suministrar agua o para drenar varias suertes.

Canales terciarios, acequias o rondas. Son los canales internos de cada suerte o tablón. Se construyen en forma transversal a los surcos y sirven para suministrar o para drenar el agua a través de éstos.

Corona de riego. Es una estructura hidráulica que consta de un dique o banca y un canal abierto que se traza sobre la corona o cresta del dique.

Reservorios. Son estructuras hidráulicas construidas para el almacenamiento de agua proveniente de pozos profundos, ríos, lluvias ó sobrante de canales y zanjones.

Procedimiento para el diseño de campo

Para el diseño de campo es necesario obtener información sobre las características de los predios y ejecutar algunos trabajos adicionales, principalmente:

1. Obtener información de la topografía del predio sobre planos a escalas que permitan una clara diferenciación de los accidentes de la superficie que se va a adecuar. Las escalas más comunes son 1:1000, 1:2000, 1:2500 y 1:4000.

Las curvas de nivel se deben dibujar con base en cotas localizadas sobre cuadrículas, de acuerdo con la pendiente del terreno, de la manera siguiente:

Terreno	Pendiente (%)	Cuadrícula (m)	Diferencia de nivel (m)
Muy plano	< 0.4	20 x 20	0.20
Plano	0.4-0.7	20 x 20	0.25
Pendiente	> 0.8	30 x 30	0.50

En los planos se deben ubicar, en forma precisa, linderos, vías principales, construcciones, fuentes de agua, estaciones de bombeo, entradas y salidas de agua, guaduales, bosques y zonas húmedas, ya sea para su conservación o para modificarlos posteriormente.

2. Efectuar una visita al predio o a la hacienda para comprobar los detalles que aparecen en los planos y complementar otros de importancia, principalmente: características del perfil del suelo, presencia de rocas o grava y sitios que presenten problemas, aforo de aguas, características de las vías de acceso, servidumbres existentes, distancias del predio a la fábrica, instalaciones y su estado e información sobre clima.
3. Sectorizar el campo de acuerdo con la topografía, los accidentes naturales, las fuentes de agua para riego y las obras para la evacuación del exceso de agua.
4. Seleccionar y diseñar uno o varios métodos de aplicación de riego, según las necesidades del cultivo.
5. Definir la dirección más apropiada para el flujo de la caña cosechada hacia el patio de transbordo o la fábrica, mediante la localización de los callejones y las vías principales que rodean el sector; demarcar las suertes, los tablones y la dirección de los surcos con una longitud entre 100 y 150 m y una pendiente máxima del terreno de 0.8%. El ángulo de intersección de las vías debe variar entre 80° y 100°, con el objeto de facilitar el trabajo de los equipos utilizados para el transporte.
6. Trazar el sistema de canales abiertos para drenaje. Estos canales mejoran el drenaje general de la finca; por lo tanto, se deben construir en los sitios más bajos de la zona, preferiblemente en aquéllos con problemas de humedad. Con base en el estudio previo del nivel freático del campo, el sistema de drenaje abierto se puede complementar con redes de drenaje entubado que, a su vez, indican la pauta para eliminar algunos cauces abiertos. Todos los canales se deben construir, en lo posible, paralelos a la dirección de los surcos de siembra. En caso contrario, se debe construir un callejón intermedio que permita el transporte de la caña cosechada.
7. Trazar el sistema de canales abiertos para riego aprovechando las partes altas de las suertes y tablones. Estos canales, al igual que los canales para drenaje, se deben ubicar, hasta donde sea posible, en forma paralela con la dirección de los surcos de siembra, excepto las acequias o rondas que se disponen de manera perpendicular. En el sistema para la conducción de agua, los canales de riego deben ser independientes de los de drenaje.
8. Ubicar y diseñar las estructuras hidráulicas complementarias, tales como reservorios, coronas, tuberías subterráneas para riego, sifones y viaductos.
9. Elaborar los presupuestos y el cronograma de actividades de los trabajos adicionales.

10. Elaborar a escala adecuada el plano general sobre el diseño de campo en cada hacienda, incluyendo la topografía, la dirección de los surcos, el sistema de distribución y evacuación de agua, las vías de comunicación, los circuitos de cosecha, y el registro de las áreas total y neta en cultivos de caña.
11. Levantar el plano del sector, detallando a nivel de cada suerte, la información que aparece en el plano general y la ubicación de las estructuras hidráulicas.

Nivelación del Terreno

La nivelación consiste en la modificación del relieve superficial mediante cortes y rellenos, hasta conseguir pendientes uniformes que faciliten las labores de riego y drenaje superficiales y la ejecución de otras labores culturales, necesarias para el desarrollo y cosecha del cultivo de la caña de azúcar.

La nivelación es costosa y puede afectar la fertilidad del suelo; por lo tanto, se debe realizar con el criterio de mínimo movimiento de tierra conservando, en lo posible, el promedio de las pendientes del campo.

La topografía del terreno se puede modificar por medio de las labores siguientes:

Macronivelación. Consiste en el movimiento de grandes volúmenes de tierra que implican cortes entre 10 y 20 cm, de acuerdo con el tipo de suelo.

Micronivelación. Son movimientos menores de suelo que se hacen para uniformizar pequeñas irregularidades y rugosidades.

Criterios para la nivelación del terreno

La nivelación del terreno se debe planear teniendo en cuenta las condiciones del perfil del suelo y la profundidad máxima de corte a la cual se puede efectuar sin afectar la producción agrícola. Los suelos con limitaciones de corte se deben manejar con un tratamiento especial de nivelación; por ejemplo, con descapote y nivelación del subsuelo. Si los suelos tienen poco espesor y la topografía es ondulada o de pendiente fuerte, no se deben nivelar, debido al alto costo y el peligro de erosión que conlleva esta práctica.

Cuando en un mismo terreno se utilizan varios sistemas de riego, se deben tener en cuenta los requerimientos del más limitativo. Por ejemplo, el riego por gravedad presenta la mayor exigencia en relación con la pendiente y el diseño de campo en comparación con otros sistemas.

Labores previas a la nivelación

Limpieza. Las operaciones de limpieza dependen de las especies vegetales presentes en el campo. Estas pueden encontrarse formando potreros, rastrojos o bosque secundario.

La limpieza de campos cubiertos por potreros de gramíneas o socas de cultivos, se puede hacer de varias formas: (1) con animales en pastoreo, para eliminar la mayor cantidad de gramíneas existentes; (2) con guadaña o cortadora rotativa. En este caso, el pasto después del corte se deja secar y posteriormente se quema; y (3) mediante la quema en secuencia de lotes dentro del campo.

La eliminación de rastrojos se hace, por lo general, con tractores. Los rastrojos con plantas de tallos delgados se pueden eliminar con rastras pesadas de 12 x 36"², 20 x 36", 28 x 32". Para eliminar rastrojos con mayor desarrollo se emplean tractores con llantas a los cuales se les adaptan cables o cadenas para el arranque y movimiento de los arbustos. En ocasiones, para esta última labor es necesario emplear tractores de oruga.

En el caso de los bosques secundarios, se utilizan tractores de orugas. Los árboles y arbustos removidos se pueden utilizar como madera o para leña; y los residuos resultantes se destruyen mediante la quema.

En la limpieza del campo se pueden encontrar rocas o escombros, que se recolectan y colocan en sitios aislados, con el fin de facilitar las operaciones agrícolas posteriores.

Es importante tener en cuenta que las zonas de protección de ríos y cauces naturales no se deben destruir, ya que esto afecta en forma negativa la estabilidad de las cuencas y el régimen hídrico de la región.

Destrucción de cepas. Esta labor implica dos pases de la maquinaria y se utiliza para la renovación de cepas de caña; el primer pase, se hace en el sentido del surco y, el segundo, en forma cruzada y perpendicular al primero. Se utilizan para el efecto tractores de oruga de aplicación especial con 165 HP y equipados con rastras de 12 x 36", 16 x 32"; o tractores con llantas y más de 250 HP, equipados con rastras de 20 x 36", ó 28 x 32".

Rastrillada. Con esta labor se reduce el tamaño de los terrones resultantes en la destrucción de las cepas y se facilita, de esta manera, una óptima nivelación. Se utilizan tractores con 165 HP y rastras de 24 x 26", 28 x 26"; o tractores con más de 350 HP y rastras de 56 x 24", 62 x 26", 80 x 26", ó 92 x 26", procurando hacer el último pase en el mismo sentido de la siembra.

Cálculos para la nivelación de tierras

Los cálculos para la nivelación de tierras incluyen la determinación de las pendientes, la altura de corte o relleno en cada punto de la cuadrícula y el volumen de tierra que se debe mover. Es importante anotar que cuando es necesario descapotar, los volúmenes de suelo que se deben mover, las horas-máquina y los presupuestos aumentan de manera considerable. Entre los métodos de cálculo más utilizados se encuentran los perfiles promedios, el centroide, y la rectificación o ajuste de las curvas a nivel.

² La primera cifra se refiere al número de discos de la rastra y la segunda al diámetro de éstos, en pulgadas.

La siguiente es una clasificación aproximada de los volúmenes de tierra que con frecuencia se mueven en la adecuación de campos para el cultivo de la caña de azúcar:

Clasificación	Volumen de suelo (m ³ /ha)
Bajo	< 400
Moderado	400 a 600
Alto	> 600

Demarcación del campo. Consiste en señalar en el terreno los callejones, las vías principales, los canales de riego y de drenaje, la dirección de los surcos y demás componentes del diseño, factores que es necesario tener en cuenta en las labores de nivelación y para facilitar los trabajos y la distribución de la maquinaria, evitando, de esta forma, la repetición de movimientos de tierra, bajos rendimientos y aumento en los costos.

Maquinaria y equipos utilizados para la nivelación de terrenos

Selección del equipo. Para la selección de la maquinaria y el equipo de nivelación se deben tener en cuenta: el tipo de suelo, el área, el tiempo disponible, las distancias de acarreo, el volumen de suelo que es necesario mover, la disponibilidad de maquinaria y equipos, el grado de precisión que requiere la obra, y los rendimientos y costos.

Equipos y rendimientos. Como una guía general en el Cuadro 1 se presentan los rendimientos, en horas-máquina/hectárea, de algunos de los equipos más comunes para la nivelación de campos destinados al cultivo de la caña.

En terrenos con cortes menores de 10 cm y áreas mayores de 30 ha, se usa el equipo de nivelación láser, incorporado a las traíllas o al marconivelador.

Cuadro 1 **Rendimiento aproximado de algunos equipos utilizados para la nivelación de terrenos cultivados con caña de azúcar en el Valle del Cauca, Colombia.**

Tractor	Equipo	Rendimiento (horas-máquina/ha)
Con llantas, 375 a 475 HP	Doble traílla de 15 y 18 yardas cúbicas cada una	3 a 6
Con llantas, 165 HP	Marconivelador (Micronivelación)	12 a 16
De orugas	Pala delantera	12 a 28
Motoniveladora	Pala y escarificador incorporados	1 a 3

FUENTES: Ingenio del Cauca y Central Castilla.

Los tractores de oruga con pala o cuchilla delantera se utilizan para macronivelación, siempre y cuando los recorridos sean menores de 60 m. Para movimientos de tierra a distancias mayores, se deben emplear las traíllas.

La nivelación de suertes previamente explanadas y que presentan pocos problemas en su topografía, se hace mediante una micronivelación, complementada con 1 a 3 horas de motoniveladora por cada hectárea.

Para la formación final de las cabeceras de riego, callejones, drenajes terciarios o bateas, se puede utilizar una motoniveladora con una eficiencia de 2 a 5 horas-máquina/ha.

Control de la nivelación

Consiste en verificar la nivelación utilizando un medio topográfico. Para el efecto, con el nivel de precisión se verifican sobre el terreno las cotas de la cuadrícula y las vías de riego y drenaje en cada tablón de la suerte, con la finalidad de corregir las posibles fallas y continuar con los trabajos de preparación del terreno.

Estructuras Hidráulicas

Obras de protección contra inundaciones

Entre estas obras, las más comunes son los jarillones o diques paralelos, y la rectificación y canalización de arroyos, ríos y quebradas.

Los jarillones o diques son estructuras de forma trapezoidal, construidas con tierra compactada sobre el lado y en forma paralela a un cauce natural para evitar su desbordamiento. Para la construcción de dichos diques existen algunas normas oficiales, que en el caso del Valle del Cauca son reguladas por la Corporación Autónoma Regional (CVC).

La rectificación y canalización de los cauces naturales tienen por finalidad conformar secciones hidráulicas apropiadas para el flujo normal de las corrientes. Para su diseño se sugiere consultar en la CVC, ya que toda obra de adecuación de cauces —ríos y quebradas— afecta su estabilidad; por lo tanto, deben ser planeadas, dirigidas y supervisadas por especialistas, con el fin de evitar desastres posteriores.

Obras para la captación de agua

La captación de agua se puede hacer mediante la construcción de bocatomas, estaciones de bombeo y pozos profundos. Las bocatomas son estructuras de contención, regulación y descarga de agua por gravedad. Las estaciones de bombeo son estructuras donde se instalan motobombas eléctricas o diesel para extraer agua de un cauce o embalse. Los pozos profundos constan de una perforación, tubería de revestimiento, filtros y motobomba, que sirven para explotar los acuíferos o formaciones geológicas donde se almacena agua subterránea.

Obras para almacenamiento de agua

De acuerdo con su capacidad de almacenamiento, pueden ser reservorios o embalses. Los primeros tienen una capacidad máxima de 10,000 m³, mientras que los embalses se consideran de mayor capacidad.

Tanto los reservorios como los embalses permiten el manejo racional del agua de riego, ya que ésta se puede almacenar en horas de la noche, en los fines de semana y en las épocas lluviosas, para aumentar de esta manera los caudales durante las jornadas hábiles de riego, permitiendo un control más eficiente por parte de los operarios.

Para evitar las pérdidas de agua y la disminución de la capacidad de los reservorios debido a la infiltración, la sedimentación y la presencia de malezas, se recomienda su revestimiento y la construcción de obras auxiliares para el control de la sedimentación.

Reservorio. A continuación se incluye el cálculo de un reservorio con capacidad para regar un campo de 60 ha de caña de azúcar localizado en el valle geográfico del río Cauca:

Area a regar	:	60 ha
Frecuencia de riego	:	25 días
Período de riego	:	20 días
Area a regar por día	:	3 ha
Volumen/ha y por por día	:	5400 m ³ = volumen útil de embalse
Caudal disponible	:	125 lt/seg = 450 m ³ /hora
Tiempo de llenado	:	12 horas (5400 m ³ /450 m ³ /hora)
Tiempo de evacuación	:	10 horas (tiempo de riego)
Caudal de evacuación	:	540 m ³ /hora = 150 lt/seg
<i>Diques:</i>		
Altura total	:	1.80m a criterio, de acuerdo con el área disponible y la topografía
Borde libre	:	0.20 m
Altura útil	:	1.60 m
Talud (Z)	:	1.5 a 1.0, de acuerdo con la estabilidad del suelo
Corona o cresta	:	3.0 m
Pata o base	:	(1.8 x 1.5) x 2 + 3 m, = 8.4 m
Area útil, promedio, ocupada por el reservorio	:	5400 m ³ /1.60 m = 3375 m ²
Lado interno inferior	:	(3375m ²) elevado a la 0.5 = 58 m
Lado externo	:	58 m + 8.4 m x 2 = 74.8 m
Area total ocupada	:	(74.8 m) ² = 0.56 ha
Longitud de diques	:	74.8 m x 4 = 299.2 m
Volumen de diques	:	$\frac{(3 + 8.4 \text{ m}) \times 1.8 \text{ m} \times 299.2 \text{ m}}{(2 \times 0.8^a)} = 3837.24 \text{ m}^3$

a. = Valor de compactación.

Obras para la conducción de agua

Pueden ser canales abiertos o tuberías que conducen el agua por gravedad o a presión. Los canales pueden ser de riego o de drenaje, revestidos o no (en tierra), y se dividen en primarios, secundarios y terciarios. Deben tener una pendiente uniforme, tratando, en lo posible, que los cambios de ésta coincidan con el cruce de los callejones para aprovechar así los sifones de paso del agua por debajo de las vías.

Los canales en tierra deben tener una pendiente entre 0.05% y 0.1%, y su diseño se debe hacer con taludes 1:1 y una sección de mínima infiltración, mientras que los canales revestidos con concreto o suelo-cemento se deben diseñar con un criterio de máxima eficiencia hidráulica.

El control de malezas y el mantenimiento de los canales y sus obras complementarias se hace al menos cada 3 meses, antes del inicio de la temporada de riego (sequía) o de drenaje (lluvias).

Canales primarios. Normalmente conducen caudales mayores de 200 lt/seg, equivalentes a toda la fuente o descarga de agua. Se deben revestir con pasto argentina (*Cynodon* sp.); no obstante, los canales de riego, con capacidad superior a los 300 lt/seg y construidos sobre coronas, se deben revestir en concreto simple, suelo-cemento o plástico.

Canales secundarios. Son aquéllos que alimentan o drenan varias suertes y se originan o desembocan en un canal primario. Al igual que los canales primarios, se deben revestir con pasto argentina o suelo-cemento, dependiendo del caudal de agua que transporten.

Canales terciarios. Son canales internos de cada suerte y tienen dirección perpendicular a los surcos. Cuando sirven como acequia de riego están localizados en la parte alta y suministran el agua a los surcos, y cuando sirven para drenaje superficial se encuentran en el extremo inferior de éstos.

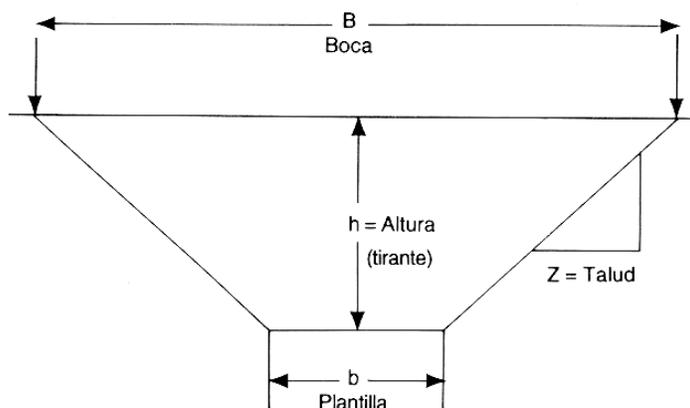
Los canales terciarios de drenaje tienen forma de batea y una profundidad de 0.15 m; los de riego deben tener una altura suficiente sobre el suelo que permita el uso de sifones para suministrar agua a los surcos. Para el acceso de los equipos de cosecha, los canales terciarios se deben tapar removiendo únicamente el suelo de los bordes, sin perturbar la base compactada, y su reconstrucción debe respetar los ejes originales para evitar que queden “caídos” hacia los callejones.

En la Figura 1 se muestran secciones típicas para canales de riego y drenaje.

Procedimiento para el diseño de canales

Para el diseño de canales de riego o de drenaje, se requiere información sobre el área a regar o drenar, caudales, clase de suelo y pendiente del terreno.

Este procedimiento comprende: (1) La identificación del canal en el plano general y su ubicación en el campo; el levantamiento altimétrico cada 20 m,



Tipo de canal	Dimensiones en metros:		
	B (m)	b (m)	h (m)
De riego:			
Principales	3.4 - 4.2	0.6	1.4 - 1.8
Primarios	2.5 - 3.4	0.6	1.0 - 1.4
Secundarios	2.0 - 3.0	0.6	0.6 - 1.2
Terciarios	1.2 - 1.5	0.3	0.3 - 0.5
De drenaje:			
Primarios	4.0	0.6	2.0
Secundarios	3.0	0.6	1.3
Terciarios	1.5	0.0	0.2

Figura 1. Secciones típicas para canales de riego y de drenaje.

incluyendo detalles adicionales como curvas, obras civiles y cruce con otros canales. (2) El dibujo del perfil a una escala adecuada, que puede ser de 1:1000 ó 1:2000 en el eje horizontal, y de 1:50 ó 1:100 en el eje vertical. (3) El cálculo de la sección hidráulica, utilizando la fórmula de Manning (ASAE, 1980) para canales abiertos, con criterios de mínima infiltración cuando se construyen en tierra y de máxima eficiencia cuando se revisten.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} * S^{1/2}$$

donde:

V = velocidad del flujo de agua, en m/seg,

n = coeficiente de rugosidad de 0.025 a 0.030 en canales en tierra de acuerdo con el tipo de suelo

S = pendiente del canal,
R = radio hidráulico, en metros.

$$R = \frac{\text{Area de la sección (m}^2\text{)}}{\text{Perímetro mojado (m)}}$$

Area de la sección:

$$A = Q/V, \text{ en m}^2$$

donde:

Q = caudal, en l/seg, o en m³/hora

Para canales en tierra la velocidad máxima permisible es de 0.6 m/seg.

La condición de mínima infiltración se obtiene cuando:

$$b/h = 4(\sqrt{(1+z^2)}-z)$$

donde :

b = plantilla del canal (m)

h = tirante (m)

z = talud

La máxima eficiencia se obtiene cuando se cumple la siguiente condición:

$$b/h = 2(\sqrt{(1+z^2)}-z)$$

Después de calcular la sección hidráulica se traza la razante o línea que indica la profundidad efectiva del canal, se determinan los cortes cada 20 m y, finalmente, se inicia la construcción en el campo.

Sistema de bombeo y conducción de agua por tubería

Cuando la fuente de agua se encuentra a una cota más baja que la del campo, es necesario instalar un sistema de bombeo, cuyo diseño requiere de información básica sobre condiciones agroclimáticas, módulo de riego, área a regar, caudal requerido, topografía, diferencia de niveles entre cotas de nivel de bombeo y de nivel de entrega final, y longitud de la línea de conducción entre los puntos de bombeo y de entrega final.

Para el diseño de estos sistemas, los criterios hidráulicos que se deben considerar son los siguientes: (1) velocidad en la succión menor de 2 m/seg; (2) carga de succión neta disponible (NPSHD), calculada según el sitio de bombeo, mayor que la carga de succión neta requerida (NPSHR) suministrada por el fabricante de la bomba; (3) velocidad de descarga menor de 3 m/seg; (4) velocidad mínima de 0.9 m/seg en tuberías (por efecto de la sedimentación); (5) tubería de succión lo más corta posible; (6) diámetro de la tubería de descarga menor o igual al diámetro de la tubería de succión; (7) reducciones excéntricas en la succión;

Adecuación de Tierras

(8) ampliaciones concéntricas; y (9) para mayor seguridad es preferible utilizar bridas en lugar de abrazaderas.

Los cálculos incluyen el procedimiento siguiente:

1. Determinación de la carga estática de succión y descarga.
2. Selección de diámetros de succión y descarga de acuerdo con las velocidades recomendadas en cada caso.
3. Cálculo de pérdidas por fricción y accesorios, mediante la fórmula de Hazen-Williams.
4. Cálculo de la carga dinámica total (CDT).
5. Selección de diámetros y clases de tubería de conducción.
6. Selección de la bomba, utilizando las curvas características.
7. Cálculo de la potencia requerida en la bomba.
8. Cálculo de la cabeza de succión neta disponible (NPSHD) para el chequeo de la altura de succión.
9. Selección del motor.
10. Elaboración de presupuesto.
11. Estudio de otras alternativas (en los pasos 2 a 10).
12. Selección definitiva de los diámetros y las clases de tubería, bomba y motor.
13. Instalación del sistema en el campo.

Fórmula de Hazen-Williams para el cálculo de pérdidas de carga:

$$J = \left(\frac{Q}{0.2785 C_x (D)^{2.63}} \right)^{1.85}$$

donde:

J = pérdida de carga por fricción, en m/m lineal de tubería

Q = caudal en m³/seg

C = coeficiente de flujo (adimensional)

D = diámetro interno del tubo, en metros

0.2785 = constante de equivalencia de unidades.

Los promedios de los valores del coeficiente C para tuberías son los siguientes:

PVC = 150

Asbesto-cemento = 140

Hierro fundido nuevo	=	130
Hierro fundido usado	=	100
Concreto	=	130
Madera	=	120
Acero liso	=	120
Acero con remaches	=	100

Otra forma común de expresar la ecuación de Hazen-Williams es la siguiente:

$$V = 0.3547 C(D)^{0.63} * (J)^{0.54}$$

donde:

C, D, y J = se definen como en la ecuación anterior

V = velocidad del agua, en m/seg.

Diseño de un sistema de bombeo y conducción de agua en tubería.

A continuación se presenta un ejemplo sobre el procedimiento a seguir para el diseño de un sistema de bombeo y conducción de agua en tubería.

Características del sistema:

1. Módulo de riego = 2.20 lt/seg por ha.
2. Area a regar = 85.90 ha.
3. Caudal de agua requerido = 189.00 lt/seg.
4. Ubicación de la línea de conducción en el plano general de diseño.
5. Trazado de la línea en el campo.
6. Levantamiento altimétrico, cálculo y dibujo del perfil de la línea de conducción.
7. Longitud de conducción (L) = 2600 m.
8. El diámetro de la tubería de conducción se selecciona teniendo en cuenta que la velocidad del agua debe ser menor de 3 m/seg; en este caso es de 2 m/seg:

$$A = Q/V$$

$$D = (4A/p)^{0.5}$$

$$\text{Diámetro (D)} = 14''$$

9. El cálculo de la carga dinámica total (CDT) se presenta a continuación:

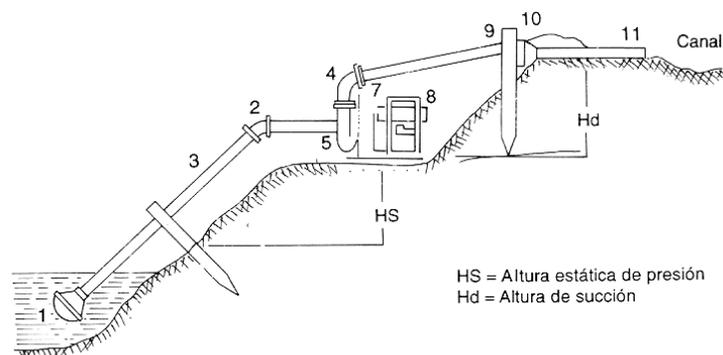
$$CDT = HS + HFS + Hd + HFD + HFC \text{ (Figura 2)}$$

donde:

HS = Altura estática de succión, en este ejemplo HS = 2 m

HFS = Pérdidas de energía en la succión (por accesorios)

Hd = Altura de descarga



- | | | | |
|---|--------------------------|----|------------------------|
| 1 | Válvula de pie o granada | 7 | Ampliación concéntrica |
| 2 | Codo de 45° | 8 | Válvula mariposa |
| 3 | Tubería metálica | 9 | Codo de 90° |
| 4 | Codo de 45° | 10 | Válvula cheque |
| 5 | Reducción excéntrica | 11 | Tubería de conducción |
| 6 | Bomba | | |

Figura 2. Esquema de una instalación típica para el bombeo y conducción de agua en un cultivo de caña de azúcar.

HFD = Pérdidas de la energía en la descarga (por accesorios), y

HFC = Pérdidas en la tubería de conducción.

10. Las pérdidas en la succión por accesorios (HFS):

$$A = Q/V$$

$$D = (4A/p)^{0.5} = 16". \text{ (D = diámetro de la tubería de succión).}$$

Se asume una velocidad del agua en la succión de 1.5 m/seg (debe ser inferior a 2 m/seg).

Pérdidas de energía en accesorios instalados en la succión:

Accesorios	Cantidad	Longitud equivalente en metros (Tablas)
Válvula de pie	1	100
Codo de 45°	2	5.9 x 2 = 11.8
Tubería (m)	4	4
Reducción excéntrica	1	35.7
Longitud equivalente total (m)		151.5

Pérdidas unitarias por fricción para tubería de 16" de diámetro en lámina (C = 100) y un caudal de 0.189 m³/seg = 0.78 m/100 m.

Pérdidas por fricción en succión (HFS): 151.5 x 0.78/100 = 1.18 m.

Pérdidas de energía en la descarga por accesorios (HFD):

Diámetro de descarga (V < 3 m/seg) = 14" (0.36 m)

Accesorio	Cantidad	Longitud equivalente en metros (Tablas)
Ampliación concéntrica	1	32.0
Codo de 90°	1	10.5
Válvula mariposa	1	2.5
Metros de tubería	2	2.0
Válvula de cheque	1	45.0
Longitud equivalente total (m)		92.0

Pérdidas unitarias por fricción para tubería de 14" en lámina (C = 100) y un caudal de 0.189 m³/seg = 1.49 m/100 m.

Pérdidas por fricción en descarga (HFD) = 92 x 1.49/100 = 1.37 m.

Altura de descarga (Hd):
 Cota del eje de la bomba (m) = 925 - 2 = 923
 Cota de la corona (m) = 930
 Altura de descarga (Hd) (m) = 7

Pérdidas por fricción en conducción (HFC):
 Diámetro de conducción = 14" (0.36 m)
 Longitud de conducción (m) = 1500
 Pérdidas unitarias para Q de 0.189 m³/seg = 0.80 m/100 m

Pérdidas de energía en conducción (HFC) en tubería de asbesto-cemento de 14" (C = 140) (m) = 12

CDT = 2 m + 1.18 m + 1.37 m + 7 m + 12 m = 23.55 m (24 m, aproximadamente).

11. Selección del diámetro y la clase de tubería de conducción:

Para CDT = 24 m (> 16 m) se requiere tubería de presión en asbesto-cemento con diámetro de 14" de clase 10. Para CDT < 16 m se puede usar tubería para alcantarillado.

Adecuación de Tierras

La tubería de asbesto-cemento se clasifica según la presión de trabajo, bajo las normas ICONTEC 44, ISO R-160; y las uniones según la norma ICONTEC 487.

12. Selección de la bomba: A partir de las curvas características de las bombas, en función de la cabeza dinámica y del caudal, se obtienen las condiciones siguientes:

Eficiencia (%)	=	77
Potencia requerida (HP)	=	85
Velocidad (rpm)	=	1760
NPSHR requerida (m)	=	4.08

13. Verificación de la altura de succión:

NPSHR & NPSHD	=	No hay cavitación
NPSHR	=	Cabeza de succión neta requerida, suministrada por el fabricante de la bomba.
NPSHD	=	Cabeza de succión neta disponible, calculada según las condiciones de bombeo.
NPSHD	=	PAT - PVAP - HS - HFS
PAT	=	Presión atmosférica a la altura del sitio de bombeo. Para 900 m.s.n.m., la PAT es de 9.3 m.
PVAP	=	Presión de vapor del agua. Para 20 °C, la PVAP es de 0.24 m.
HS	=	Altura de succión de 2 m .
HFS	=	Pérdidas por fricción en la succión equivalente a 1.18 m.
NPSHD	=	9.3 m - 0.24 m - 2 m - 1.18 m = 5.88 m.
NPSHD	=	5.88 m.
NPSHR	=	4.08 m.

O sea, que NPSHD en este ejemplo es mayor que NPSHR en 1.80 m; por consiguiente, se puede aumentar la altura de succión hasta 3.8 m.

14. Selección del motor. Los motores Diesel sufren una pérdida de potencia de 3% cada 300 m.s.n.m. y de 1% cada 5.6 °C a partir de 15.6 °C. Lo anterior indica que en las condiciones del valle geográfico del río Cauca se deben hacer correcciones de 9% por altura y de 3.5% por temperatura, o sea, un total de 12.5%.

En consecuencia, el motor requiere una potencia de 85 HP para la bomba, más 85×0.125 (11 HP) correspondientes a la corrección por temperatura y altura, para una potencia total requerida de 96 HP. Para motores eléctricos se debe adicionar 15% a 20% más de potencia.

Obras menores

Las obras menores son estructuras hidráulicas auxiliares que se utilizan en la red de riego y drenaje para recibir, entregar y controlar niveles y medir caudales; obviar accidentes del terreno o depresiones naturales; y proteger contra la erosión. Las obras menores más comunes se describen a continuación.

Aforadores. Son estructuras esenciales en toda red de riego, ya que permiten medir los caudales que transportan los canales o la tubería desde la fuente hasta los campos bajo riego. En canales abiertos los aforadores del tipo «RBC» son los más utilizados, por su bajo costo, facilidad de diseño, construcción, calibración y alta precisión.

Compuertas. Son estructuras localizadas en la salida de los reservorios o en los puntos de distribución de agua de un canal primario o secundario y entre éstos y los terciarios. Las compuertas más comunes son del tipo cuchilla, que tienen forma rectangular y movimiento vertical.

Compuertas de chapaleta. Se utilizan, generalmente, en los sitios en donde descarga por gravedad un colector de drenaje a un cauce; funcionan como una válvula cheque, o sea, que se abren cuando el flujo de agua tiene una dirección y se cierran cuando tiene sentido contrario. Se utilizan para evitar que el agua se devuelva de los cauces a los colectores.

Sifones invertidos. Son estructuras cerradas que trabajan a presión y se utilizan para el transporte del agua por debajo de depresiones, canales y vías. Se pueden construir en concreto o en metal y siempre se colocan por debajo del nivel de agua en el canal de riego.

El relleno con tierra sobre la tubería debe ser mayor de 0.6 m, para evitar daños por las cargas que producen los vehículos. Los sifones deben tener un diámetro superior a 61 cm (24") para facilitar su limpieza.

Alcantarillas. Al igual que los sifones invertidos, las alcantarillas son estructuras que permiten el paso de agua por debajo de vías, pero con la diferencia de que en éstas la tubería está al mismo nivel del agua en el canal de riego. En los sitios de paso de agua de riego que sirven sólo a uno o dos campos, se recomienda la construcción de alcantarillas protegidas con relleno de tierra o de un terraplén mayor de 0.6 m de espesor.

Viaductos. Son estructuras para la conducción de agua situadas por encima de las depresiones naturales o de los canales artificiales. Actualmente casi no se usan, debido a los problemas de mantenimiento y a los riesgos de obstaculización del flujo de agua en los cauces naturales cuando éstos aumentan su caudal.

Vías para el Transporte de la Caña

Las vías son estructuras civiles que se construyen para el paso en forma rápida y segura de los vehículos transportadores de caña. Se dividen en primarias, secundarias y terciarias.

Vías primarias o principales

Se utilizan para el tránsito de tractomulas y sistemas de “doble canasta”. Su construcción se hace mediante el descapote previo del terreno, nivelación de la subrasante, relleno y compactación de la misma con material de afirmado, y pendiente transversal hacia uno o ambos lados de acuerdo con la localización de las obras de drenaje y riego. El ancho de la calzada es, normalmente, de 9 m más 1 m adicional desde el eje del canal de riego y una distancia igual desde la cuneta.

Vías secundarias

Forman los callejones que dividen las suertes, tienen doble vía para facilitar el tránsito de trenes cañeros y los sistemas de autovolteo hacia los patios de transbordo o bahías para el estacionamiento de las tractomulas. Generalmente se encuentran en la misma dirección del surco, y su construcción se hace en forma similar a la de las vías primarias. El ancho de la calzada es de 7 m y los ejes de los canales de riego y de drenaje son de 1 m cada uno.

Vías terciarias

Son callejones que dividen tablones dentro de una misma suerte y su dirección es perpendicular a los surcos que desembocan en una vía secundaria. Se construyen en suelos bien compactados con pendiente hacia la cuneta de drenaje. En lo posible, se deben revestir con pasto argentina. En estas vías el ancho de la calzada es de 4.50 m, más 1 m a partir del eje de la acequia de riego y 0.50 m de la cuneta de drenaje.

En las vías antes mencionadas, la pendiente transversal no debe exceder de 0.2%. Los callejones que poseen en ambos lados acequias regadoras se deben construir de tal forma que drenen por gravedad hacia ellas. Cada callejón terciario tiene, por lo general, un canal de riego a un lado y uno de drenaje al otro lado. En este caso, el canal de riego se debe construir 0.10 m por encima del eje de la vía. Cuando los canales tienen 1 m o más de profundidad y se encuentran aldedaños a los callejones, el ancho de la calzada se debe aumentar en 1 m.

El mantenimiento de las vías se debe hacer en forma periódica mediante la limpieza de los canales laterales y la reposición de las vías primarias y secundarias con balasto.

Programación de las Labores para la Adecuación de Tierras

En general, a cada una de las labores de adecuación de tierras se le asigna un código arbitrario que depende del ingenio o de la hacienda, como se observa en el listado siguiente:

Código	Labor
1121	Limpieza de terrenos.
1122	Descepada.
1123	Rastrillada, posdescepada.
1124	Nivelación con «bulldozer».
1125	Nivelación con traíllas.
1126	Nivelación con marconivelador.
1127	Recuperación de tierras (áreas que por su condición no se usan para el cultivo de caña, pero es posible incorporarlas, por ejemplo: pantanos, zonas pedregosas).
1128	Limpieza y desbarre de canales.
1129	Construcción de canales.
1130	Construcción de coronas de riego.
1131	Construcción de reservorios.
1132	Instalación de tubería subterránea para riego.
1133	Instalación de tubería subterránea para drenaje.

Tipo de Maquinaria

La maquinaria que se utiliza para la adecuación de tierras también tiene un código arbitrario, como se detalla a continuación:

Código:	Tipo de maquinaria
01	Tractores con llantas, de 375 a 475 HP, equipados con doble traílla de 13.7 m ³ (18 yardas cúbicas). Rastras para descepada de 28 x 32" y 20 x 36", y de 56 x 24", 62 x 26", 87 x 26" y 92 x 26" para rastrillar.
02	Tractores de oruga de aplicación especial de 165 HP, equipados con rastras para descepada de 12 x 36" y 16 x 32", y "pata de cabra" para compactación de terrenos.
03	Tractores con llantas, de 165 HP, equipados con rastrillos 24 x 26", 28 x 26" y marconiveladores.
04	Tractores de oruga con cuchilla delantera.

Adecuación de Tierras

- 05 Retroexcavadoras de orugas con capacidad entre 0.5 y 0.76 m³, para la construcción, desbarre y limpieza de canales.
- 06 Tractores con llantas, entre 90 y 120 HP, utilizados para oficios varios (movilización de tanques con agua, transporte de algunos implementos).
- 07 Motoniveladoras.
- 08 Máquina entubadora para drenaje subterráneo.
- 09 Retroexcavadoras de 0.2 a 0.4 m³ con cargador.

Eficiencia de la maquinaria

Es un índice del tiempo efectivo que necesita una máquina para desarrollar una determinada labor, por ejemplo: una eficiencia de 75% significa que de 12 horas empleadas para ejecutar una labor, sólo el 75% (9 horas) fueron efectivas.

Otros parámetros necesarios para programar las labores de adecuación

Entre éstos se pueden mencionar el rendimiento de la maquinaria, el tiempo efectivo y total disponible para cada labor, los días programados para cada labor y la maquinaria necesaria.

En el Cuadro 1 se presentan, como ejemplo, los valores de estos parámetros, y en la Figura 3 se muestra un cronograma de labores de adecuación de tierras.

Cuadro 2. Programación de actividades para la adecuación de terrenos en el cultivo de la caña de azúcar.

Labor	Máquina	Cantidad	Rendimiento (horas/unidad)	Hora-maq/ labor	horas/ día	Días/ labor	hora/ labor	No máquinas
1121	04	20 ha	6.0	120	18	4	72	2
1121	06	20 ha	2.0	60	18	4	72	1
1122	01	110 ha	1.5	165	18	5	90	2
1122	02	30 ha	3.0	90	18	5	90	1
1123	01	110 ha	1.2	132	18	4	72	2
1123	03	30 ha	3.2	96	18	2	36	3
1124	04	80 ha	12.0	960	18	12	216	5
1125	01	120 ha	3.0	360	18	12	216	2
1126	03	40 ha	1.2	48	18	3	54	1
1127	04	20 ha	3.5	700	18	10	180	4
1128	04	1600 ml	0.017	27	18	2	36	1
1128	05	1600 ml	0.025	40	18	2	36	1
1129	04	14000 m ³	0.033	462	18	10	180	3

(Continuación)

Cuadro 2. (Continuación)

Labor	Máquina	Cantidad	Rendimiento (horas/unidad)	Hora-maq/ labor	horas/ día	Días/ labor	hora/ labor	No máquinas
1129	05	14000 m ³	0.014	196	9	10	90	2
1130	01	2200 m ³	0.008	18	18	1	18	1
1130	02	2200 m ³	0.016	35	18	2	36	1
1130	04	2820 m ³	0.033	93	18	2	36	3
1130	05	620 m ³	0.014	9	9	1	9	1
1130	06	2200 m ³	0.010	22	18	2	36	1
1131	01	2836 m ³	0.020	57	18	3	54	1
1131	02	2836 m ³	0.020	57	18	3	54	1
1131	04	2836 m ³	0.050	142	18	3	54	3
1131	06	2836 m ³	0.020	57	18	3	54	1
1132	04	2960 ml	0.0017	5	9	0.6	5.4	1
1132	06	2960 ml	0.0500	148	9	18	162	1
1132	09	2960 ml	0.0330	198	9	11	99	1
1133	04	1800 ml	0.0017	3	9	0.4	3.6	1
1133	08	1800 ml	0.0160	29	9	32	29	1
1133	09	1800 ml	0.0160	29	9	32	29	1

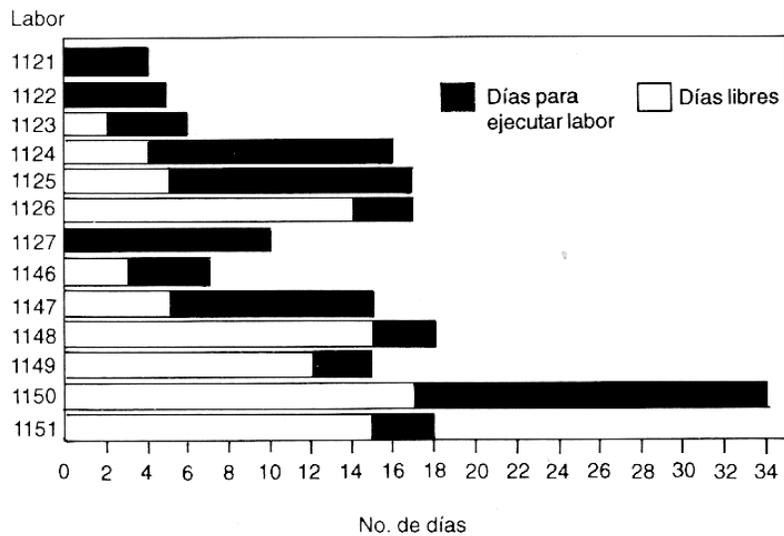


Figura 3. Cronograma de labores de adecuación de tierras en el cultivo de la caña de azúcar.

Costos de Adecuación de Terrenos

A manera de ejemplo, a continuación se incluye una matriz que puede servir a los cultivadores de caña del valle geográfico del río Cauca, para determinar los costos de adecuación de terrenos.

1. Topografía
(levantamientos, cálculos, dibujos,
diseños, planteos, chequeos) (\$/ha) 18,000
2. Estudio detallado de suelos (\$/ha) 14,000
3. Labores generales:

Labor (código)	Tipo de máquina	Rend. (horas/ha)	Costo (\$/hora)	Costo total (\$/ha)
1121	04	40	17,500	70,000
1121	06	20	11,200	22,400
1121	Jornal	40	996	3,980
Total/ha				96,380
1121	01 (2 Pases)	15	27,000	40,500
1123	01 (4 Pases)	12	34,000	40,800
1124	04	60	17,500	105,000
1125	01	35	30,000	105,000
Total/ha (nivelación: bulldozer + traíllas)			210,000	

4. Obras de infraestructura (horas por metro lineal o cúbico, según el tipo de obra).

Labor	Tipo de máquina	Rendim. (hora/m)	Costo (\$/hora)	Costo total
1128	04	0.017	17,500	297
1128	05	0.025	21,600	540
1128	Total	—	—	837
1129	05	0.033	17,500	578
1129	04	0.014	21,600	302
1129	Total	—	—	880
1130	01	0.008	30,000	240
1130	02	0.016	23,700	379
1130	04	0.033	17,500	577
1130	05	0.014	21,600	302
1130	06	0.020	11,200	224
1130	Subtotal	—	—	1722
1130	Enfalcado sección útil (concreto)	—	—	80,000
1130	Total	—	—	81,722
1131	01	0.02	30,000	600
1131	02	0.02	23,700	474
1131	04	0.05	17,500	875
1131	06	0.02	11,200	224
1131	Total dique	—	—	2173

a. El código 1128 se expresa en metros lineales. Los demás códigos se expresan en m³.

1131	Obra civil de entrada y salida en concreto a todo costo (\$/m ³)	=	102,000
1132	Promedio del costo por metro lineal, entregado e instalado, de tuberías de asbesto-cemento clase 6 entre 8" y 14" de diámetro, incluyendo accesorios (\$)	=	15,270
1133	Promedio de costo por metro lineal, entregado e instalado. El valor del uso por hora de la máquina entubadora representa el 45% de este costo (\$)	=	5940
1151	Costo del estudio freático (\$/ha)	=	16,000
	Construcción de cada alcantarilla en callejones principales (a todo costo) (\$)	=	1,100,000
	Construcción de cada alcantarilla de campo en callejones secundarios con cabezales de guadua (a todo costo)	=	120,000
	Conformación y balastaje de las vías principales y patios de transbordo (\$/m ³)	=	3618

El último costo varía con la distancia entre la fuente de balasto y el lugar de la obra.
Los costos que aparecen en este capítulo corresponden a 1994. US\$1 = 800 pesos colombianos

Referencia

ASAE (American Society of Agricultural Engineers). 1980. Jensen, M. E. (ed.). Design and operation of farm irrigation systems.

Preparación de Suelos

Carlos A. Rodríguez y Oscar H. Daza *

Introducción

La preparación del suelo consiste en ejecutar las operaciones de campo necesarias para proporcionar un ambiente apropiado para la óptima germinación de la semilla y el buen desarrollo del cultivo. La semilla de caña requiere para su germinación una relación definida suelo-aire-agua. De la misma manera, el desarrollo del cultivo requiere de condiciones adecuadas de disponibilidad de agua, aireación, drenaje y nutrientes. Lo anterior puede obtenerse mediante un buen control de calidad en las labores de preparación, la cual, a su vez, depende de la textura del suelo, el contenido de humedad en el mismo y de la disponibilidad apropiada de maquinaria e implementos de labranza.

Cuando la humedad es adecuada, la preparación favorece la formación y distribución de los agregados en el suelo, lo que ayuda a la proliferación de raíces, a la aireación y a la penetración del agua a través del perfil. Por el contrario, cuando la humedad es excesiva ocurre la formación de bloques o terrones de gran tamaño que cuando se secan son difíciles de destruir, aumentando la compactación y los costos de preparación.

La preparación excesiva del suelo es tan perjudicial como la preparación en condiciones inadecuadas. En suelos con textura liviana, aquella deteriora la estructura debido a la generación de agregados muy finos que favorecen la formación de costras en la superficie, la obstrucción de los macroporos y la acumulación de partículas finas a diferentes profundidades.

Finalmente, la preparación del suelo debe orientarse hacia aquellas labores indispensables para el buen desarrollo del cultivo, teniendo presente la promoción de las prácticas de conservación que incidirán directamente en los costos de producción.

Con la preparación de suelos se persigue la destrucción de malezas y residuos de cultivos anteriores, el aumento en la capacidad de infiltración y retención de agua en el suelo, una mejor aireación e intercambio de aire entre el suelo y la atmósfera, la penetración de las raíces, el aumento en la disponibilidad de los nutrientes y de la actividad microbiana en el suelo, y la destrucción de capas compactadas resultantes de la deficiente preparación de los suelos y del tráfico de la maquinaria.

* Carlos Rodríguez es Ingeniero Agrícola; Oscar Daza es Ingeniero Agrícola, Ph.D. del Ingenio Providencia S. A., Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Descripción de las Labores

Las labores de preparación de campo para la siembra de caña son, en su orden:

Descepada

Consiste en la destrucción e incorporación al suelo de los residuos de cultivos anteriores. Cuando los lotes son nuevos, generalmente estos residuos son de pastos y cultivos estacionales, y cuando son de un cultivo de caña están formados por trozos de cepas y residuos vegetales de la cosecha. Se utilizan normalmente rastró-arados (Lámina A,1) con un número variable entre 10 y 28 discos y diámetro entre 28 y 32 pulgadas. Los requerimientos de potencia del tractor varían de acuerdo con el tipo de suelo y la velocidad de operación. En esta labor es común el empleo de tractores de oruga de 140 a 165 HP y enllantados de 225 a 450 HP.

La descepada se hace mediante un pase del implemento en la dirección de los surcos existentes, seguido de otro pase en dirección perpendicular al primero (Figura 1). La calidad de la labor depende del grado de destrucción e incorporación de los residuos al suelo, y de ella, además de la germinación del cultivo, depende el rendimiento en la ejecución de otras labores posteriores como la nivelación con tractores de oruga y traíllas, la cual a veces se dificulta por la presencia de residuos en el suelo.

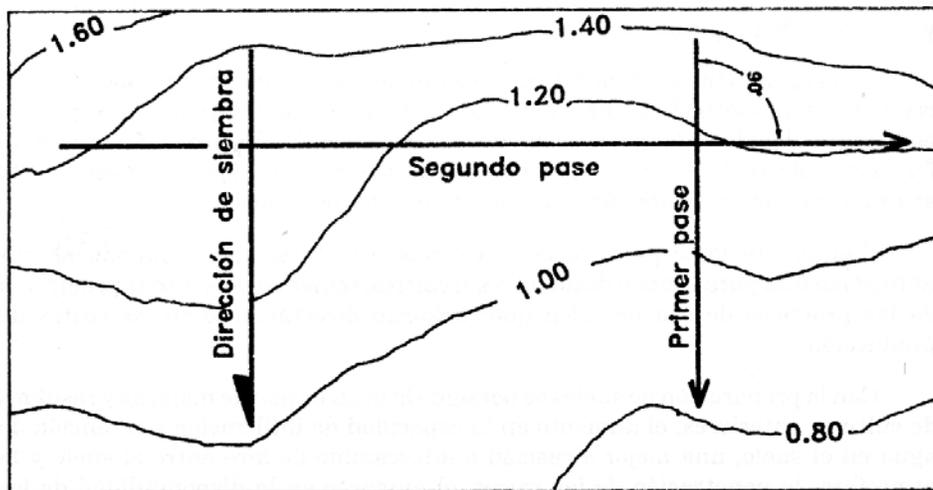


Figura 1. Patrón utilizado en la descepada de campos para el cultivo de caña (dos pases).

Subsolado

Esta labor se ejecuta después de la nivelación y consiste en fracturar el suelo hasta una profundidad de 60 cm, con el fin de destruir las capas compactadas o impermeables y, de esta manera, mejorar la estructura y facilitar el movimiento del aire y el agua.

La calidad del subsolado se mide por el grado de fracturación y depende del contenido de humedad y la textura del suelo, el implemento y la velocidad de operación, y el patrón que se siga en el campo. Los implementos más utilizados para esta labor son los subsoladores rectos y los curvos que tienen mayor eficiencia y constan de 3 ó 5 vástagos subsoladores de 60 cm de longitud, separados 0.75 a 1.5 m y dispuestos en la barra porta-herramientas del tractor (Lámina A,2). La demanda de potencia varía entre 140 y 150 HP con tractores de oruga y entre 200 y 375 HP con tractores enllantados.

Los suelos de textura liviana, superficiales o con estratos de arena o grava no requieren subsolado.

Los patrones de campo más utilizados para el subsolado de los suelos comprenden: (1) El primer pase con un ángulo de 15° con respecto a la dirección del surco propuesta, y el segundo en forma cruzada con un ángulo de 90° con respecto a la dirección del primero (Figura 2a). (2) El primer pase en la dirección del surco propuesta y el segundo cruzado con ángulo de 15° con relación al primero (Figura 2b). La escogencia del patrón depende de las condiciones del suelo y la disponibilidad de maquinaria. El último patrón propuesto es el más utilizado en el valle geográfico del río Cauca.

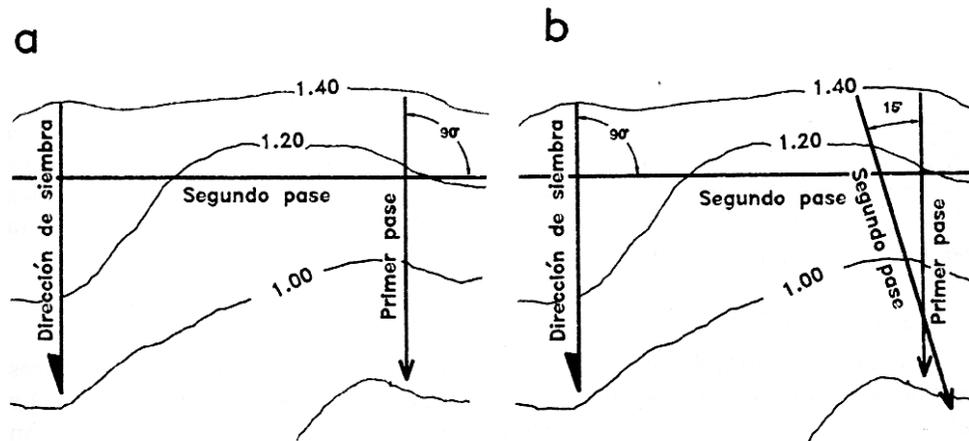


Figura 2. Patrones utilizados en el subsolado de campos cultivados con caña (dos pases).

Arada

Esta labor se realiza generalmente después del segundo pase de subsolado. Tiene como objetivo fracturar y voltear el suelo hasta una profundidad entre 30 y 40 cm, con el fin de favorecer la distribución de los agregados. La calidad de la labor está asociada con el grado de perturbación de los terrones del suelo, asociada con el volteo e impacto de éste por el implemento que gira a velocidades

relativamente altas. El patrón de campo utilizado con mayor frecuencia incluye una dirección transversal con ángulo de 90° en relación con la dirección del surco propuesta (Figura 3).

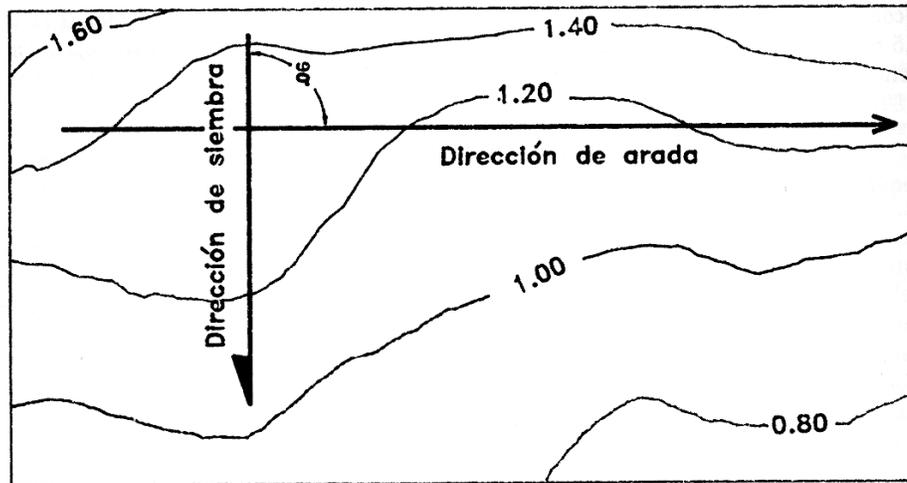


Figura 3. Patrón utilizado en la arada de campos cultivados con caña (un pase).

Los implementos utilizados para esta labor son rastró-arados, con dimensiones similares a los que se emplean para la descepada, que se acoplan a tractores de oruga de 150 a 165 HP o enllantados de 200 a 375 HP. En suelos de textura liviana (franco-arenosos o arenosos) se recomienda utilizar arados de 5 ó 7 cinceles de 40 a 45 cm de longitud y separados entre 0.7 y 1.0 m entre sí (Lámina A,3), que se operan con tractores enllantados de 150 a 250 HP.

Rastrillada

Tiene como finalidad destruir los terrones grandes resultantes en las labores antes descritas y garantizar, de esta manera, el buen contacto entre la semilla y el suelo. La calidad de esta labor depende de las mismas condiciones que regulan la arada.

El patrón de la operación en el campo incluye generalmente dos pases del implemento (Figura 4), el primero en la dirección del surco propuesta y el segundo paralela a éste. Como implementos se utilizan comúnmente rastrillos de tiro con un número de discos entre 20 y 92 y un diámetro entre 24 y 26 pulgadas, operados con tractores de oruga de 150 HP o enllantados de 120 a 475 HP.

Surcada

Consiste en hacer surcos o camas donde se coloca la semilla o material vegetativo de siembra. Esta labor requiere definir previamente la dirección y el espaciamiento entre los surcos. Se ejecuta con un surcador provisto de tres

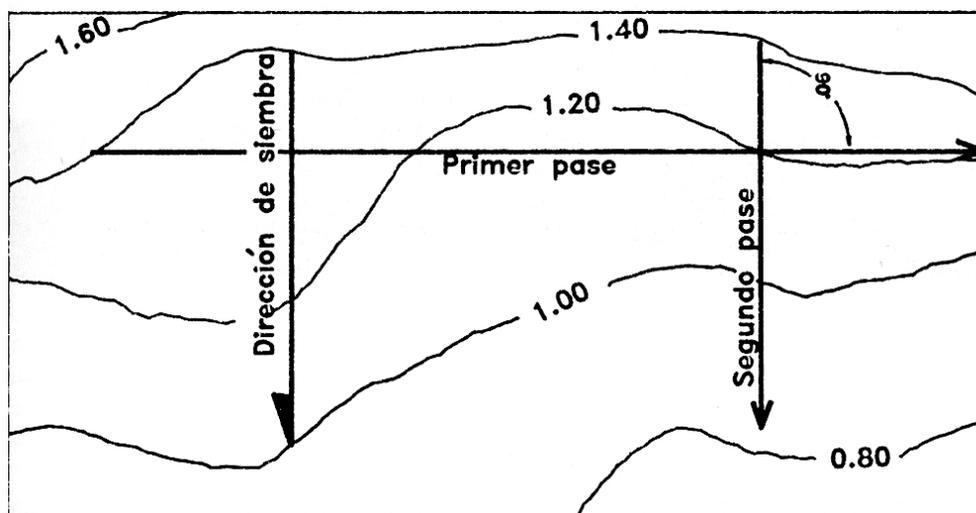


Figura 4. Patrón utilizado en la rastrillada de campos cultivados con caña (dos pases).

vertederas y pautas dispuestas en la barra porta-herramientas para asegurar la continuidad y paralelismo entre los surcos (Lámina A,4).

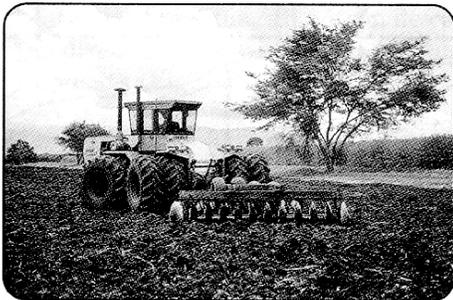
La calidad de la surcada depende, en gran parte, de la calidad de la preparación del suelo; se hace con tractores enllantados de 120 a 150 HP y doble tracción para asegurar la uniformidad. En algunos casos, especialmente en suelos arcillosos, se utilizan tractores de oruga.

La dirección de los surcos está determinada por el diseño de campo que, a su vez, depende de la topografía del sitio. En la industria azucarera del valle geográfico del río Cauca, la distancia más común entre surcos es de 1.50 m, aunque en algunos casos es posible encontrar distancias de 1.80 m. La profundidad del surco depende de la calidad de preparación del suelo y puede variar entre 25 y 35 cm.

Sistema de riego y drenaje

Los canales terciarios de riego se construyen en la cabecera de las suertes y las acequias de drenaje al final de los surcos. Ambos sirven para el manejo del agua a través del ciclo del cultivo.

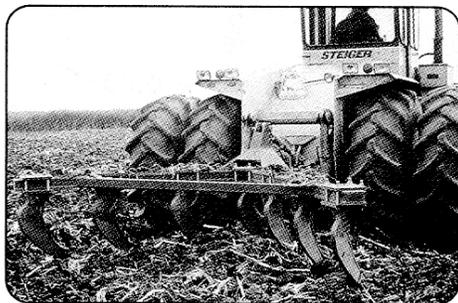
Los canales se construyen con un zanjador en "V" (Lámina A,5), que tiene una demanda de potencia en el tractor —de oruga o enllantado— de 130 a 150 HP. En condiciones normales de campo, estos canales conducen entre 60 y 100 lt/seg de agua (para mayores detalles sobre la construcción de estos canales se sugiere consultar los capítulos sobre adecuación de tierras, riego y drenaje, en este mismo libro).



1. Rastro-arado.



2. Subsoladorl.



3. Arado de cincel.



4. Surcador de vertedera.



5. Zanjador.

Lámina A. *Implementos utilizados en la preparación de suelos para el cultivo de la caña de azúcar.*

Establecimiento de Semilleros y Multiplicación de Variedades

Jorge I. Victoria y Humberto Calderón*

Introducción

La disminución en la producción y el incremento en los problemas sanitarios son las causas principales que determinan la renovación de las plantaciones de caña de azúcar. Entre los problemas sanitarios más importantes se encuentran el carbón (*Ustilago scitaminea* Syd.), la roya (*Puccinia melanocephala* H. & P. Syd.), el mosaico (SCMV) y el raquitismo de la soca (*Clavibacter xyli* subsp. *xyli* Davis et al.) y, en menor grado, la raya clorótica producida por agentes aún no determinados (Victoria et al., 1984). Estas enfermedades, a excepción de la roya, son sistémicas y, por lo tanto, se pueden transmitir mediante la siembra de material vegetativo infectado. Cuando se utiliza este tipo de material, la incidencia de las enfermedades aumenta de manera significativa a través de los cortes, siendo una de las principales causales del deterioro de las plantaciones comerciales.

Esta situación exige una renovación frecuente de los campos, mediante la utilización de material libre de patógenos, bien sea con variedades comerciales o con nuevas variedades, provenientes siempre de semilleros o de campos de multiplicación sometidos a un estricto control sanitario.

Establecimiento de Semilleros Libres de Patógenos

En el establecimiento de un cultivo de caña de azúcar, la calidad de la semilla es de gran importancia en el desarrollo posterior del cultivo y en su producción final. Un cultivo comercial que se va aprovechar durante varios cortes requiere desde su iniciación un manejo adecuado, que empieza con una buena preparación del suelo, una selección apropiada y alta pureza genética de la variedad, y la utilización de semilla libre de plagas y enfermedades, con yemas sanas, funcionales y de buen vigor (Buenaventura, 1990).

Para obtener semilla de buena calidad se deben establecer campos dedicados exclusivamente para este fin, manejados con prácticas adecuadas para garantizar la buena calidad del material de siembra. El área de los semilleros debe ser,

* Jorge Victoria es Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Fitopatólogo del Programa de Variedades de CENICAÑA, Apartado Aéreo 9138, Cali, Colombia. Humberto Calderón es Ingeniero Agrónomo de la División de Agronomía del Ingenio del Cauca, Cali, Colombia.

aproximadamente, la décima parte del área que se planea renovar cada año en las plantaciones comerciales.

La época de siembra del cultivo comercial determina el momento para el establecimiento del semillero. Los campos para este fin se deben escoger entre los mejores de la hacienda o ingenio, según las condiciones físicas y químicas del suelo, disponibilidad de agua y ubicación con respecto a las áreas seleccionadas para renovación.

En el plan de renovación anual de las plantaciones comerciales es necesario considerar tres tipos de semilleros: básico, semicomercial y comercial (Buenaventura, 1990). El semillero básico es la fuente del material para la siembra de los semilleros semicomerciales y éstos, a su vez, para la siembra de los semilleros comerciales.

Organización y aprovechamiento

En la Figura 1 se observa un esquema de la manera como funcionan los campos de multiplicación o semilleros. El **semillero básico** se establece con material proveniente de CENICAÑA, o seleccionado en lotes comerciales. Estos lotes deben reunir las condiciones siguientes: garantía de pureza genética de la variedad, buen manejo agronómico, se cortan una vez entre 7 y 10 meses de edad. El estado sanitario de los semilleros debe ajustarse a los criterios siguientes: libre de carbón; los niveles de mosaico, raquitismo de la soca y raya clorótica deben ser inferiores a 1%; y el ataque de roya debe ser menor a grado 5 y presentar menos de 5% de daño. El establecimiento de los semilleros básicos se hace con material vegetativo tratado térmicamente, para eliminar la presencia de patógenos que estén produciendo infección sistémica (Victoria et al., 1984). En los semilleros se deben efectuar dos evaluaciones fitosanitarias; la primera, a los 4 meses de edad para determinar la presencia de carbón, roya, mosaico y de otras enfermedades; y la segunda, inmediatamente antes del corte de la semilla, época en la cual se toman al azar muestras de 20 tallos por cada 3 a 5 ha de semillero, para determinar la incidencia del raquitismo de la soca; esta última determinación la hace CENICAÑA, como un servicio para los cultivadores.

El **semillero semicomercial** se siembra con material proveniente del semillero básico o con material proveniente de la soca de otro semillero semicomercial que se ha tratado en forma térmica. El área de este campo es, en general, 10 veces mayor que la del semillero básico y, al igual que en éste, a los 4 meses de edad se debe hacer una evaluación fitosanitaria, y al momento del corte se deben tomar muestras que se envían a CENICAÑA para determinar la incidencia del raquitismo de la soca. El semillero semicomercial debe tener un estado sanitario ajustado a los grados de infección siguientes: libre de carbón, menos de 1% de mosaico, menos de 2% de raquitismo de la soca y de raya clorótica, y roya en grado 5 y menos de 5% de daño.

El **semillero comercial** se establece con material proveniente de la plantilla o de la primera soca de un semillero semicomercial. El área es, por lo menos, 10 veces mayor que la del semillero semicomercial. Aunque en este caso no es

Establecimiento de Semilleros...

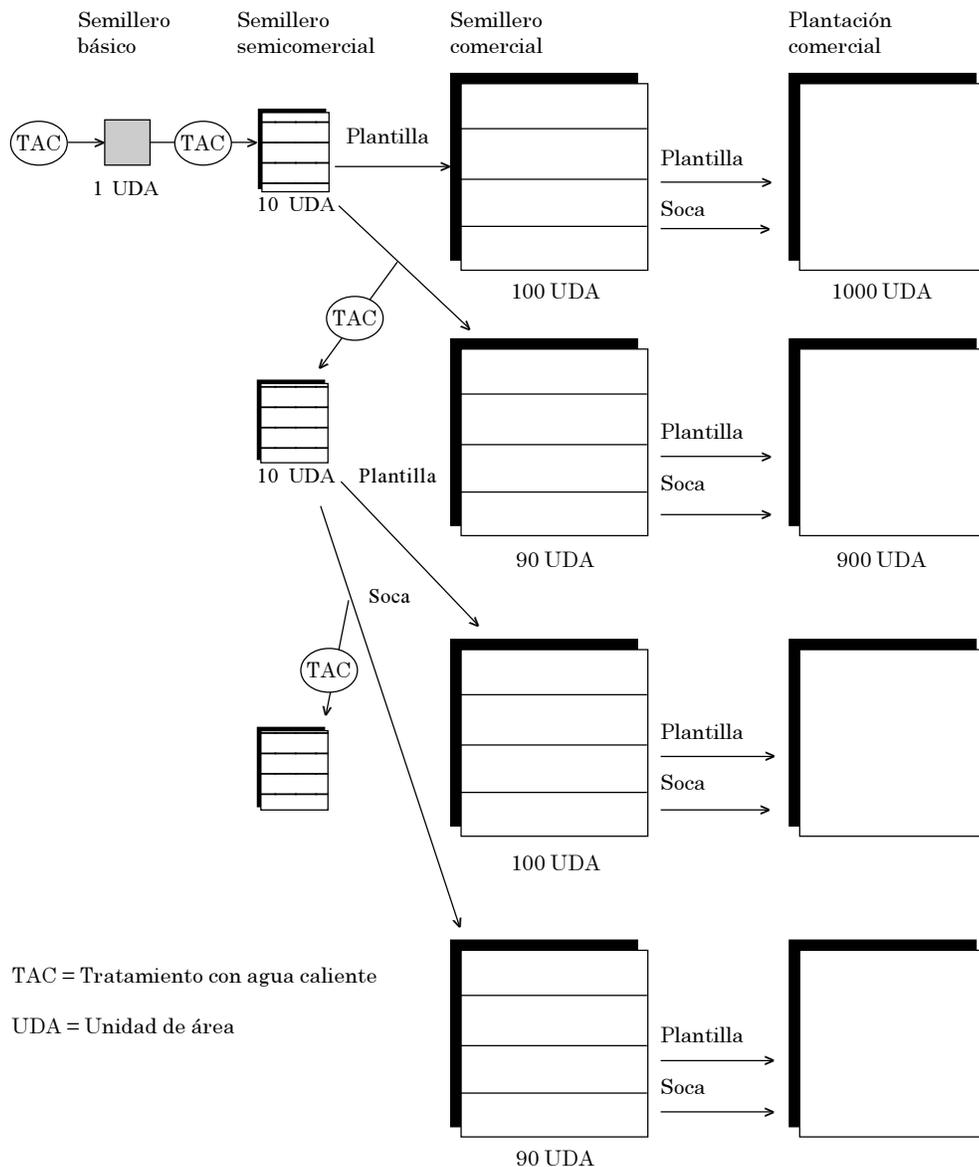


Figura 1. Organización y aprovechamiento de los semilleros básicos, semicomercial y comercial de caña de azúcar.

FUENTE: Buenaventura (1990).

necesario tratar en forma térmica el material, sí se deben efectuar las mismas evaluaciones fitosanitarias que se hacen en los semilleros anteriores, incluyendo la toma de muestras para análisis de raquitismo de la soca. Este semillero debe tener un estado sanitario similar al que presenta el semillero semicomercial.

Cuando los semilleros anteriores no reúnen los requisitos sanitarios establecidos, se deben destruir las plantas afectadas, y después de un tratamiento térmico se repite su establecimiento.

Programación de los semilleros

Los lotes destinados para el establecimiento de los semilleros deben tener un período de descanso de 2 a 3 meses como mínimo, durante el cual se puede sembrar un cultivo de rotación como soya, sorgo o maíz. Es importante evitar en estos lotes los rebrotes de plantas o cepas de cultivos anteriores de caña de azúcar, ya que éstos no sólo afectan la pureza de la variedad, sino que también se pueden constituir en una fuente de inóculo de enfermedades.

La siembra y el corte de los semilleros se hacen en forma gradual para garantizar el suministro oportuno y continuo de material de siembra sano (Figura 1). El corte del semillero básico, para obtener el material destinado al establecimiento del semillero semicomercial, se hace entre 7 y 9 meses de edad. El campo de este último se divide en cuatro secciones que se cortan a intervalos de 1 mes, a partir del séptimo mes de edad. La semilla de cada campo sirve para establecer un semillero comercial (Buenaventura, 1990).

Los semilleros comerciales se pueden establecer en uno o en varios sitios estratégicos de la hacienda o ingenio para facilitar, de esta manera, las labores de las siembras comerciales. La diferencia que existe entre las épocas de siembra de estos semilleros más el margen de tiempo que transcurre hasta la época de corte—entre 7 y 9 meses de edad—garantizan un período amplio en el suministro de material, que permite programar las labores de acuerdo con las condiciones del clima en la zona.

Los campos destinados en forma permanente para semilleros se pueden dividir en tres secciones: una se encuentra en descanso, otra en plantilla y la tercera en primera soca (Buenaventura, 1990).

Tratamiento térmico

El material de siembra para el establecimiento de los semilleros básico y semicomercial, se debe tratar en forma térmica para evitar la diseminación de enfermedades. Entre los sistemas más comúnmente empleados se encuentran: aire caliente a 54 °C, durante 8 horas; vapor aireado a 54 °C, durante 4 horas; y agua caliente a 50 °C, durante 2 horas, o a 51 °C durante 1 hora (Victoria et al., 1986).

Este último sistema es el más efectivo en el control del raquitismo de la soca, enfermedad que afecta la germinación de las yemas en algunas variedades. Se hace en cámaras especiales (Figura 2) y consiste en un tratamiento previo de la semilla en agua a 50 °C durante 10 minutos, seguido de un período de reposo de 8 a 12 horas a temperatura ambiente, y de un nuevo tratamiento en agua a una temperatura de 51 °C durante 1 hora (Victoria et al., 1986 y 1987).



Figura 2. *Cámara para el tratamiento con agua caliente de la semilla de caña de azúcar.*
FUENTE: Buenaventura (1990).

Se debe tener en cuenta que al sumergir la semilla en agua caliente, la temperatura de ésta disminuye, aproximadamente, entre 4 y 6 °C; por lo tanto, el tiempo de tratamiento se debe contabilizar una vez que la temperatura del agua alcance de nuevo 51 °C. Si el tratamiento con agua caliente se hace 12 horas después de haber efectuado el pretratamiento, este último empieza a perder su efecto protector sobre las yemas y 36 horas después desaparece completamente.

La semilla que se trata con agua caliente no debe medir más de 60 cm, ya que a mayor longitud hay menor eficiencia en la eliminación de la bacteria que causa el raquitismo de la soca, como resultado de la baja conductividad del calor que tienen los tejidos de la caña.

Manejo del semillero

En la preparación de los campos destinados para semillero se siguen las labores que son comunes en cultivos comerciales (Gómez, 1986). Para evitar los rebrotes que alteran la pureza genética de la variedad y constituyen una fuente de inóculo de las diferentes enfermedades (Victoria et al., 1984), se recomienda destruir totalmente los residuos de la cosecha anterior y dejar el lote en descanso durante 2 ó 3 meses, o establecer otro cultivo en rotación como soya, sorgo o maíz.

Para el establecimiento, el material de siembra (trozos de tallo) se coloca en el fondo del surco con una densidad de 8 a 10 yemas sanas por metro lineal. La

distancia entre surcos más utilizada es de 1.50 m (Gómez, 1986). La germinación y el vigor de la planta en cultivos comerciales de caña dependen de la disponibilidad de elementos nutritivos en la semilla; por lo tanto, en el semillero se deben aplicar los nutrimentos necesarios en las dosis requeridas, de acuerdo con el análisis previo del suelo. Si es necesario agregar fósforo y potasio, éstos se deben colocar en el fondo del surco al momento de la siembra. El nitrógeno se aplica después de la siembra, dependiendo de la textura del suelo y de su contenido de M.O.; en suelos arcillosos se puede hacer una sola aplicación a los 60 días y en suelos francos o franco-arenosos se deben hacer aplicaciones a los 30 y 90 días (Gómez, 1986).

El control de malezas en los campos de semilleros es indispensable para un desarrollo vigoroso de las plantas y para obtener material de siembra de buena calidad. Este control puede ser manual, mecánico o químico.

La humedad adecuada en el suelo después de la siembra es necesaria para asegurar la germinación. El primer riego se debe aplicar inmediatamente después de la siembra; posteriormente, se deben hacer dos riegos adicionales con una frecuencia de 10 a 12 días y una lámina de agua de 30 a 35 mm. Para los riegos siguientes se recomienda tomar como base el balance hídrico de la zona.

Corte del semillero

La programación de los cortes del semillero se hace de acuerdo con las necesidades de material de multiplicación en la plantación comercial, teniendo en cuenta que la edad óptima de corte varía entre 7 y 9 meses. Para evitar la diseminación y reinfección por algunas enfermedades como el raquitismo de la soca, la herramienta empleada para el corte manual se debe desinfectar antes del corte y en forma periódica sumergiéndola en una solución de Vanodine o Sanivet al 1% de producto comercial (Victoria et al., 1987). Esta práctica es indispensable cuando los obreros provienen de frentes de corte de lotes comerciales.

En el Cuadro 1 se presentan las cantidades de semilla que producen algunas variedades comerciales. Un obrero corta, en promedio, entre 100 y 150 paquetes de 30 trozos por día, incluyendo el amarre y la colocación en grupos de cinco paquetes cada uno, para facilitar el conteo y el manejo del material; igualmente, puede cargar entre 1600 y 1700 paquetes por día. En un vagón se pueden trasportar entre 250 y 400 paquetes, dependiendo de la capacidad de éste y de la variedad de caña.

Existen algunos agentes que causan pudriciones en el material vegetativo, como *Ceratocystis paradoxa* (Dade) Moreau que produce el “mal de piña” y *Glomerella tucumanensis* (Speg.) Arx y Mueller causal de la “pudrición roja”, los cuales sobreviven en el suelo y ocasionan mala germinación (Wismer y Bailey, 1989; Victoria et al., 1984). Por lo tanto, es importante la aplicación de una suspensión de fungicidas como Benomil (Benlate) (3 g/l, de producto comercial), Triadimefón (Bayleton) (2 g/l), o Propiconazole (Tilt) (2 g/l) (Wismer y Bailey, 1989). El material, tratado previamente con agua caliente, se sumerge completamente en la solución para lograr la protección no sólo de los extremos del corte,

Cuadro 1. Cantidad de semilla que producen diferentes variedades comerciales de caña de azúcar, a los 8 meses de edad al corte. Valle del Cauca, Colombia.

Variedad	Semilla (t/ha)	Peso/paquete ^a de semilla (kg)	Total de paquetes (no./ha)
CP 57-603	95.7	14.5	6600
Mex 64-1487	85.4	9.6	8900
MZC 74-275	92.0	11.5	8000
PR 61-632	105.0	15.0	7000
RD 75-11	87.6	12.7	6900
V 71-51	84.7	11.0	7700
CC 83-25	76.4	11.4	6700
CC 84-75	108.8	11.7	9300
CC 85-63	90.0	12.5	7200
CC 85-92	91.0	13.0	7000

a. Cada paquete contiene 30 trozos de 60 cm de longitud, con un promedio de cuatro yemas.

sino también de las yemas (Victoria et al., 1984). Se debe anotar que las aplicaciones de fungicidas únicamente en los extremos de corte del material no son efectivas en la prevención de las enfermedades que causan pudrición.

Multiplicación de Nuevas Variedades y de Material Libre de Patógenos

Los campos de multiplicación se deben aprovechar para la propagación de material libre de patógenos, o de una nueva variedad. La propagación del material de caña de azúcar se puede hacer por los sistemas: (1) convencional, (2) multiplicación rápida de esquejes, y (3) multiplicación in vitro de meristemas.

Sistema convencional o tradicional

Este sistema es similar al que se utiliza en los semilleros básicos, semicomercial y comercial, descritos anteriormente. Presenta una tasa de multiplicación de 1:10 en cortes cada 7 a 8 meses; es decir, en 2 años a partir de 1 ha se puede obtener suficiente material para establecer 1000 ha de campos comerciales. Sin embargo, debido a la excelente calidad del material que se obtiene en los campos sanos y a las mayores tasas de macollamiento de las variedades que en la actualidad se cultivan, las tasas de multiplicación o relaciones de siembra (hectáreas de semillero por hectáreas de cultivo comercial) han incrementado en los últimos años, y pueden ser de: 1:12 para las variedades CC 85-68; 1:15 para CC 85-53, 85-63 y 85-92; 1:17 para CC 84-75; y 1:19 para CC 85-96.

CENICAÑA está evaluando actualmente una modificación a este sistema, que consiste en la extracción con un sacabocado de las yemas de los tallos de plantas cultivadas en un semillero limpio y que tienen entre 8 y 9 meses de edad.

Las yemas, una vez que se extraen, se someten a tratamiento térmico con agua caliente y se sumergen en una solución de Vitavax 300 (5 g/l) durante 10 minutos. La siembra se hace en un sustrato compuesto de suelo, cachaza y arena en partes iguales, colocado sobre ladrillo limpio con perforaciones o en bandejas plásticas, que se ubican en viveros especialmente acondicionados. Las plántulas generadas a partir de las yemas se fertilizan cada 2 días en forma foliar y a los 3 meses se trasplantan en el campo. Este sistema permite incrementar en forma significativa la tasa de multiplicación o relación de siembra; por ejemplo, en la variedad CC 84-75 se ha alcanzado una relación de 1:120; sin embargo, la tasa de multiplicación en las distintas variedades depende de la producción de tallos por metro lineal.

Multiplicación rápida de esquejes

Es un sistema más laborioso que el convencional, pero permite alcanzar altas tasas de multiplicación del material. Consiste en sembrar trozos de tallo de 5 cm de longitud, que contienen una yema tratada previamente por inmersión completa en una suspensión de 5 g/l de Captan (Orthocide) durante 5 minutos. La siembra se hace en bolsas plásticas negras de 10 cm de diámetro y 20 cm de profundidad, que se ubican en viveros acondicionados para tal propósito.

El sustrato para propagación del material puede ser una mezcla de suelo y cachaza seca en proporciones iguales. El proceso de secado del sustrato dura 3 meses, tiempo durante el cual se debe mover cada semana con el objeto de airearlo. Para la siembra, la bolsa plástica se llena en una tercera parte con el sustrato y se coloca la porción de tallo de manera horizontal con la yema hacia arriba. Posteriormente, se agrega el sustrato faltante hasta llenar la bolsa.

Las bolsas con el material vegetativo se ubican por pares en hileras separadas 20 cm, en una fosa de 60 cm de profundidad y área variable de acuerdo con las necesidades (Figura 3). Estos viveros se localizan cerca a un canal de drenaje y con facilidades para riego por inundación. El primer riego se debe aplicar hasta alcanzar la capacidad de campo del suelo; el riego siguiente se hace 8 días después, conjuntamente con el control preemergente de malezas, utilizando una mezcla de ametrina más atrazina (7 lt/ha) y 2,4-D amina (1.5 lt/ha). Posteriormente, se deben repetir los riegos con la frecuencia que sea necesaria y 20 días después de la siembra se aplican 5 g de urea por planta para estimular su desarrollo.

Las plántulas permanecen en el vivero durante 2 meses antes del trasplante. Este se hace a 80 cm entre plántulas y 1.5 m entre surcos, lo que equivale a 8333 plántulas/ha (Figura 4). En los sitios de siembra se aplica riego y una vez que se eliminan las bolsas plásticas, las plántulas se colocan en hoyos de 20 cm de profundidad, compactando bien el suelo a su alrededor para evitar la presencia de aire y favorecer el contacto con las raíces; inmediatamente después se aplica riego por aspersión o por gravedad.

Con este método de propagación es posible sembrar un área siete veces mayor en comparación con el sistema convencional. En este último sistema se colocan 10 yemas por metro lineal de surco, mientras que en la siembra con plántulas este

Establecimiento de Semilleros...



Figura 3. *Vivero con capacidad para 5000 plántulas de la variedad CC 84-75 de caña de azúcar multiplicada por esquejes. Las dimensiones del vivero son: 60 cm de profundidad, 7 m de largo y 7 m de ancho.*



Figura 4. *Campo sembrado con CC 85-74, variedad de caña de azúcar multiplicada por esquejes.*

mismo número de yemas ocupa 7 m, teniendo en cuenta un 10% de pérdida durante la germinación.

La producción total de semilla depende de cada variedad, ya que el número de tallos y su longitud son inherentes a cada una de ellas; por ejemplo, la variedad CC 84-52 produjo 72% de los paquetes/plántula que produjo el testigo (MZC 74-275), mientras que la variedad CC 84-75 produjo 184% (Cuadro 2).

Lo anterior significa que mediante la propagación rápida de esquejes, a los 8 meses se tendrían estacas suficientes para plantar 72 ha de MZC 74-275 y 133 ha de CC 84-75 (Cuadro 2), teniendo en cuenta que se requieren 556 paquetes de 120 yemas cada uno para plantar 1 ha.

Otro sistema de multiplicación adicional al de esquejes es el de deshije o macollo, desarrollado por Cassalet y López (1984) en CENICAÑA, e implementado por Gómez y Piza (1992) en el Ingenio Manuelita. El deshije se hace en plantas con 4 meses de edad; para ello se riegan y, 24 horas más tarde, se podan a 30 ó 40 cm de altura sobre el suelo. Con una pala de borde recto se arrancan las cepas, que se sumergen en agua para desprender el suelo y dejar cada macollo con sus raíces. Una vez se efectúa la labor anterior, se procede al deshije manual para seleccionar los hijos o macollos más vigorosos y descartar los más jóvenes. Antes de plantarlos en el campo, la porción radicular de los hijos seleccionados se sumerge en una solución de Vitavax 300 (5 g/l). La siembra se hace en hoyos de 20 cm x 20 cm que reciben una aplicación previa de urea. El suelo alrededor de cada hijo trasplantado se compacta y se aplica un riego ligero, a la vez, se controla el arrastre por escorrentía de algunos de ellos o que no queden muy enterrados. Entre 5 y 10 días después del trasplante se debe aplicar un nuevo riego y entre 30 y 60 días se aplica urea. Cuatro meses después del trasplante se puede repetir la multiplicación por deshije a partir de las nuevas plantas.

La tasa de multiplicación por deshije es diferente de acuerdo con la variedad, y puede ser de 12 a 14 macollos por cepa, es decir, con 1 ha de plántulas se puede

Cuadro 2. Cantidad de semilla producida por diferentes variedades de caña, multiplicadas por esquejes y cortadas a los 8 meses de edad. Valle del Cauca.

Variedad de caña	Tallos/plántula (no.)	Longitud del tallo ^a (cm)	Paquetes/plántula ^b (no.)	Producción relativa ^c (%)
CC 83-25	9.5	129.0	0.68	1.00
CC 84-75	16.9	131.3	1.23	1.84
CC 84-10	12.4	133.7	0.92	1.37
CC 84-52	8.6	100.4	0.48	0.72
MZC 74-275	10.8	111.9	0.68	1.00

a. Longitud aprovechable del tallo.

b. Cada paquete contiene 30 estacas de 60 cm con tres a cuatro yemas cada una.

c. Producción relativa de paquetes/plántula con relación a la variedad MZC 74-275.

Establecimiento de Semilleros...

producir en 4 meses material suficiente para establecer entre 12 y 14 ha y, 4 meses después, con el mismo sistema, establecer entre 144 y 196 ha, mientras que con el sistema convencional sólo es posible establecer 10 ha.

Multiplicación de meristemos in vitro

Este sistema permite, además de la destrucción por termoterapia de los patógenos, una rápida multiplicación del material. El desarrollo de una metodología para el cultivo de caña de azúcar in vitro, surgió como respuesta a la necesidad de erradicar enfermedades de tipo sistémico, y para mantener y multiplicar materiales de escasa disponibilidad.

El proceso de multiplicación in vitro exige un manejo adecuado de los tallos, que una vez cortados, se lavan con jabón y se sumergen en agua caliente a 50 °C durante 1 hora; posteriormente se cortan en trozos con una yema y se siembran en vasos de "icopor" con suelo estéril. Después de la emergencia, las plantas se mantienen aproximadamente 20 días en una cámara de termoterapia a una temperatura constante de 41 °C y un fotoperíodo de 12 h (Figura 5) (Gómez y Piza, 1992; Moreno, 1991).

Los tallos de las plantas, una vez que se tratan con termoterapia, se cortan en trozos de 7 a 10 cm; se lavan con jabón y agua corriente; luego se escurren y se sumergen, primero, en alcohol al 96% durante 10 segundos y, después, en hipoclorito de calcio al 4% durante 15 minutos. Para recolectar las yemas, los tallos se secan con un papel filtro estéril; y en un estereoscopio con la ayuda de una



Figura 5. *Crecimiento de plántulas de caña de azúcar en una cámara de termoterapia a 41 °C, con ciclos de 12 horas de luz y 12 de oscuridad, durante 20 días.*

pinza, un punzón y un bisturí estéril, se hace la disección y extracción del meristemo, que mide entre 1 y 2 mm y contiene dos primordios foliares. El meristemo se establece y desarrolla en el medio de cultivo MSI (Cuadro 3) durante 10 días en la oscuridad y 5 días en la luz (Moreno y Victoria, 1991).

El meristemo desarrollado se planta en medio de cultivo MSII (Cuadro 3), específico para la proliferación y crecimiento de yemas laterales (Figura 6). El número de plántulas que emergen a partir del meristemo inicial cambia en este medio de acuerdo con la variedad y puede llegar a 80. Un mes más tarde, las plántulas se disectan y se colocan en el medio MSIII (Cuadro 3), donde producen raíces y se forman, en promedio, 20 plántulas a partir de una planta madre. Esta última etapa dura 1 mes.

De acuerdo con lo anterior, a partir de un tejido meristemático único cultivado *in vitro*, se pueden obtener 1600 plántulas en 3 meses.

Las plántulas con raíces desarrolladas se separan del medio *in vitro* y se siembran en un sustrato pasteurizado que contiene proporciones iguales de suelo, cachaza y arena. Este sustrato con las plántulas se coloca en un vivero acondicionado para el efecto. En estas condiciones, las plántulas crecen en condiciones de alta humedad durante 1 semana (Figura 7); posteriormente se mantienen en las condiciones normales del ambiente y, a partir de los 3 meses de crecimiento, se trasplantan al campo.

La siembra en el campo se puede hacer en forma manual, como se hace la siembra de plántulas provenientes de la multiplicación rápida de esquejes, o con maquinaria, colocando las plántulas a una distancia de 80 y 150 cm entre surcos, para un total de 8333 plántulas por hectárea (Figura 8). Este sistema de

Cuadro 3. Composición de los medios empleados en el establecimiento (MSI), la multiplicación (MSII) y el enraizamiento (MSIII) del meristemo apical y de plántulas de caña de azúcar cultivadas *in vitro*.

Componente químico	Medio de cultivo ^a		
	MSI	MSII	MSIII
Sales de Murashige & Skoog	4.32	4.32	4.32
Tiamina (ml)	1.00	1.00	1.00
Inositol (mg)	100.00	100.00	100.00
Cinetina (mg)	—	0.10	0.10
Bencil-amino purina (mg)	—	0.20	—
Acido indol-butírico (mg)	0.01	—	—
Acido giberélico (mg)	0.10	—	—
Acido naftalenacético (mg)	—	—	5.00
Acido cítrico (mg)	150.00	150.00	—
Sacarosa (g)	20.00	20.00	20.00
Agua bidestilada	1.00	1.00	1.00

a. Información suministrada por C. O. Cardoso Nogueira, investigador de COPERSUCAR (Brasil).

Establecimiento de Semilleros...



Figura 6. *Proliferación y desarrollo in vitro de plantas de caña de azúcar, utilizando el medio MSII.*



Figura 7. *Ambientación de las plántulas de caña de azúcar provenientes de la multiplicación in vitro y trasplantadas a un sustrato pasteurizado de suelo + cachaza + arena (1:1:1).*



Figura 8. *Campo de caña de azúcar trasplantado a máquina con plántulas provenientes de la multiplicación rápida in vitro.*

multiplicación rápida permite, a partir de un meristemo cultivado in vitro, tener en 8 meses suficientes plántulas para unas 15 ha y, de esta manera, continuar con el sistema convencional de multiplicación, o en combinación con la multiplicación rápida de esquejes (Moreno y Victoria, 1991).

Es necesario indicar que la variedad de caña RD 75-11, después de una multiplicación rápida in vitro de meristemas, ha presentado variaciones mericlinales que se caracterizan por su alta susceptibilidad a la roya, en contraste con la alta resistencia de la variedad original. La presencia de estas variaciones se debe, posiblemente, a una inestabilidad inherente a la variedad, ya que otras 12 variedades multiplicadas por el mismo método no presentaron, aparentemente, variaciones mericlinales (CENICANA, información no publicada).

Referencias

- Buenaventura, C. E. 1990. Semilleros y siembra de la caña de azúcar. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICANA), Cali, Colombia. Serie técnica no. 6. 10 p.
- Cassalett, C. y López, P. 1984. Multiplicación acelerada de variedades de caña de azúcar. En: Primer Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICANA). Memorias. Cali. p. 45-55.

Establecimiento de Semilleros...

- Gómez, J. F. 1986. Semilleros y siembra de la caña de azúcar. En: Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). El cultivo de la caña de azúcar. Cali. p. 141-158.
- _____ y Piza, L. F. 1992. Propagación rápida de variedades en el Ingenio Manuelita. En: Avances técnicos en el sector azucarero. Foro de CENICAÑA. Memorias. Cali. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA).
- Moreno, B. 1991. Limpieza *in vitro* de variedades de caña de azúcar. Tesis. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, Colombia. 76 p.
- _____ y Victoria, J. I. 1991. Limpieza *in vitro* de materiales de caña de azúcar. En: 12o. Congreso de la Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines (ASCOLFI). Memorias. Manizales. p. 76.
- Victoria, J. I.; Ochoa, O.; y Cassalet, C. 1986. Control térmico del raquitismo de la caña de azúcar en Colombia. Carta Mensual CENICAÑA 8(7, 9):6-9.
- _____; _____; y _____. 1984. Enfermedades de la caña de azúcar en Colombia. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA), Cali. Serie técnica no. 2. 27 p.
- _____; Guzmán, M. L.; y Ochoa, O. 1987. Control químico y físico del raquitismo de la soca de la caña de azúcar. En: Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Memorias. Cali. p. 231-236.
- Wismer, C. A. y Bailey, R. A. 1989. Pineapple disease. En: Ricaud, B. T. et al. (eds.). Diseases of sugarcane. Major diseases. Elsevier, Nueva York. p. 145-155.

Siembra

Carlos A. Viveros y Humberto Calderón*

Introducción

En Colombia, la siembra de la caña de azúcar para la explotación comercial se realiza con material vegetativo, especialmente por esquejes denominados comúnmente trozos.

El sector azucarero ha desarrollado tecnologías tendientes a alcanzar una mayor celeridad en la multiplicación de variedades, con el objeto de probar en un menor tiempo aquellas generadas por el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA) y, de la misma manera, sustituir las menos productivas.

La multiplicación de la caña por medio del cultivo de tejidos utilizando el meristemo, o la obtención de plántulas a partir de yemas extraídas con sacabocado, son técnicas que en la actualidad se utilizan en la siembra mecánica. Sin embargo, las plántulas obtenidas se deben plantar bajo un esquema diferente al que en forma tradicional se utiliza para la siembra de material vegetativo.

Aquí se presentan los elementos que se deben tener en cuenta para la siembra o plantación de la caña de azúcar con fines comerciales, utilizando las diferentes fuentes disponibles para esta labor.

Siembra a Partir de Esquejes

Adecuación y preparación del suelo

La adecuación tiene como propósito la preparación del campo, de acuerdo con la pendiente y la infraestructura de riego y drenaje necesaria para el cultivo de esta gramínea. En zonas planas, la pendiente debe variar entre 3 y 5 por mil, para facilitar el riego por gravedad y la evacuación rápida de los excesos de lluvia, lo cual requiere la construcción de canales de drenaje. En las zonas de piedemonte, donde la pendiente natural es mayor, la adecuación se limita a mejorar el relieve, a la construcción de la red de canales de riego y drenaje y de surcos con la menor inclinación posible para evitar la erosión. La profundidad de estos surcos en suelos de texturas media y liviana puede ser entre 30 y 35 cm y en suelos de textura arcillosa entre 20 y 30 cm.

* Carlos A. Viveros es Ingeniero Agrónomo, MSc. del Programa de Variedades de CENICAÑA. Humberto Calderón es Ingeniero Agrónomo del Ingenio del Cauca, Valle, Colombia.

Distancias de siembra

La distancia entre los surcos del cultivo se establece de acuerdo con la textura y la fertilidad del suelo, con el objeto de evitar la competencia que favorece la disminución en la producción. En suelos arcillosos y de baja fertilidad, esta distancia varía entre 1.35 y 1.40 m, y en suelos de textura media y de alta fertilidad entre 1.50 y 1.75 m. Las menores distancias propician el cubrimiento rápido del entresurco, lo que disminuye la competencia de las malezas. Es importante anotar que en algunos casos la distancia entre las ruedas del tractor es de gran importancia para la selección de la distancia de siembra.

Material vegetativo para siembra

El material que se utiliza para el establecimiento de campos comerciales consiste en esquejes o trozos de tallo de 60 cm de longitud, aproximadamente, y un mínimo de 3 a 4 yemas (denominados semilla), los cuales se agrupan en paquetes o atados de 30 unidades cada uno.

Densidad de siembra

La densidad puede ser diferente si se cambia la longitud de bandereo —consistente en colocar banderolas separadas entre 10 y 12 m cada 30 surcos— o si se hacen otros arreglos en el número de surcos por hectárea. Por ejemplo, si se mantiene la distancia de 1.5 m entre surcos que predomina actualmente, al variar la longitud de bandereo de 12 a 18 m se obtendría un ahorro de 33% en el material y en las labores de siembra, así como en el área de los semilleros, recursos que se podrían emplear en otras actividades de la explotación comercial.

La densidad de siembra puede cambiar, también, con la forma de arreglo de los surcos. Cuando se utiliza el sistema de surco apareado, similar al que se usa en la siembra de piña, consistente en plantar en dos surcos estrechos distanciados 0.75 m entre sí y dejando una calle amplia de 1.5 m, se necesitaría 33% más de material de siembra, más laboreo y mayor área para los semilleros; pero se esperaría un incremento equivalente en población y, en consecuencia, una mayor producción. No obstante, estas variantes se deben evaluar con diferentes variedades de caña y tipos de suelos.

La densidad de siembra que se emplea en la actualidad varía entre 9 y 12 yemas por metro de surco. La cantidad de semilla varía con la separación entre surcos y con la distancia a la cual se distribuye cada paquete en el fondo del surco (bandereo) (Cuadro 1).

Sistema de siembra

En el valle geográfico del río Cauca, el sistema de siembra de caña más común es el manual, que incluye los pasos siguientes:

1. Bandereo, que consiste en colocar banderolas cada 10 ó 12 m en forma de hileras a lo largo del surco. El espaciamiento entre hileras es de 30 surcos.

Siembra

Cuadro 1. **Cantidad de paquetes de trozos de caña necesarios para plantar una hectárea, según las distancias entre surcos y la longitud de surco.**

Distancia entre surcos (m)	Longitud de surco (m)/paquete	
	10 — — (no. de paquetes/ha) ^a	12 — —
1.35	741	617
1.40	714	595
1.50	667	556
1.75	571	476

a. Cada paquete contiene 30 trozos de tallo de 60 cm y 3 a 4 yemas.

2. La semilla (esquejes) proveniente de cultivos sanos y manejados en forma adecuada, se corta entre 7 y 9 meses de edad, se alza y transporta en vagones o camiones hasta el sitio de siembra. Una vez en el campo, el tractor con el vagón y los paquetes con esquejes, avanza sobre cada línea de banderolas y, en forma coordinada, dos operarios colocan los paquetes a cada lado en tres o cuatro surcos.
3. Los esquejes se colocan en el fondo del surco en forma manual, y se distribuyen de manera uniforme en los espacios señalados, quedando generalmente traslapados en longitud variable según la distancia de bandereo.
4. Por último, se cubre el material en forma manual o mecánica con una capa de suelo de 5 cm. Esta labor se hace con un tractor liviano de 60 a 90 HP, el cual en la barra porta-herramientas lleva enganchados seis “brazos”, dos por cada surco, que tapan en forma simultánea tres surcos. Para cubrir el material en cada surco, también se pueden usar discos colocados por parejas en la barra porta-implementos. En ambos sistemas, el rendimiento de la máquina es de 1 ha/hora.

Labores culturales

Una vez termina la siembra, se inician las labores culturales con el riego de germinación, previa construcción de las acequias; posteriormente, se controlan las malezas en preemergencia o posemergencia temprana, se hace la resiembra cuando existen espacios libres mayores de 1 m, se aplica riego y se fertiliza. Todo lo anterior se realiza durante los 2 meses siguientes a la siembra.

En forma conjunta con la siembra se debe iniciar la elaboración del balance hídrico para programar los riegos. La humedad adecuada es esencial para promover el brote de las yemas. El retraso en la aplicación de riegos o los encharcamientos prolongados ocasionan pérdidas en la germinación, lo que demanda labores adicionales de resiembra. Los riegos por gravedad se hacen inicialmente con sifones de 2 pulgadas y los de aspersión hasta alcanzar una lámina entre 30 y 35 mm, dependiendo del tipo de suelo.

La resiembra consiste en reponer las plantas que se pierden debido a las fallas en la germinación en espacios mayores de 1 m, para lo cual se usan trozos de tallo, plántulas cultivadas en bolsas y macollos o porciones de cepas. Este último material es económico y con él se alcanza un establecimiento de 100%, cuando los macollos se seleccionan y plantan en forma correcta y la humedad en el suelo es adecuada. La resiembra se debe hacer a 1 m de distancia durante los primeros 40 días siguientes a la siembra. Con este sistema, un obrero puede plantar entre 300 y 500 macollos o plantas por día, incluyendo la construcción de los hoyos. En el Cuadro 2 se incluyen algunos datos de la eficiencia en la ejecución de labores de establecimiento comercial de campos de caña.

Cuadro 2. **Eficiencias de labores de establecimiento de caña de azúcar. Valle del Cauca, Colombia.**

Labores en el manejo de la semilla	Eficiencia (Paquetes/hombre por día)
Cortar	100 a 150
Alzar	1700
Descargar	3000
Acomodar	800

La eficiencia en el cubrimiento mecanizado de la semilla es de 1 ha/hora, aproximadamente.

Siembra a Partir de Plántulas

Preparación y adecuación del suelo

El establecimiento de caña utilizando plántulas requiere una buena preparación para asegurar un suelo suelto. En esta labor se debe tener en cuenta el contenido de humedad con el fin de evitar las melgas que dificultan la siembra mecanizada. Cuando el terreno no se nivela, las labores de la sembradora y de la trasplantadora y la aplicación de riego por gravedad se dificultan debido a las ondulaciones. Por tanto, este sistema es difícil de ejecutar en suelos arcillosos y húmedos o en épocas de alta precipitación, que impiden una buena preparación del suelo o dificultan la entrada del equipo de siembra al campo.

Obtención de las plántulas

Las plántulas se pueden obtener mediante la técnica de cultivo de tejidos o por extracción de yemas. En la actualidad, algunos ingenios y cultivadores utilizan estas formas de multiplicación para el establecimiento de semilleros y para aumentar en corto tiempo la cantidad de semilla disponible. Es posible que en el futuro estas técnicas se puedan usar en forma directa para la siembra en áreas comerciales (CENICAÑA, 1991).

En el vivero se reduce el área foliar de las plántulas mediante una poda, con lo cual la transpiración y la deshidratación disminuyen después del trasplante.

Siembra

Las raíces de las plántulas, una vez que éstas se sacan del semillero, deben formar un cespedón con el suelo, de un grosor aproximado de 20 cm (Figura 1).



Figura 1. *Plántulas de caña de azúcar listas para trasplantar en el campo.*

Distancias entre surcos y densidad de siembra

Los criterios que se siguen en este sistema para la escogencia de la distancia entre surcos son iguales a los de la siembra por esqueje. Los surcos se hacen a una profundidad similar a la utilizada para la siembra con trozos, o sea, entre 20 y 30 cm. En campos de multiplicación (semilleros), la distancia de siembra entre plántulas es de 80 cm; con ello se consigue la misma población de cepas que se obtiene en cultivos comerciales. Esta población garantiza una buena producción de tallos y, por lo tanto, una buena producción de semilla. No obstante, en variedades que tienen baja capacidad de macollamiento, esta distancia se puede disminuir a 70 cm entre plántulas. En el Cuadro 3 se presenta el número de plántulas requerido para plantar 1 ha, de acuerdo con las distancias entre éstas y entre surcos.

Cuadro 3. **Cantidad de plántulas requeridas para una hectárea de caña de azúcar.**

Distancia entre surco (m)	No. de plántulas distanciadas 0.8 m
1.35	9259
1.40	8929
1.50	8333
1.75	7143

Sistema de trasplante

El trasplante de las plántulas en el campo se realiza en forma manual y mecánica. Para esta última labor, se necesita un tractor con enganche hidráulico de tres puntos, al cual se acopla una o varias máquinas trasplantadoras, que pueden ser del tipo “Mechanical Transplanter Company”, modelo 4000 (Figura 2). El procedimiento es el siguiente:

1. La labor se inicia con el transporte de las plántulas al campo, las cuales se colocan en un lugar sombreado, fresco y se humedecen, si es necesario, para evitar su deshidratación.
2. La trasplantadora se calibra con anterioridad para obtener la distancia de siembra deseada (Cuadro 4). Así, por ejemplo, para obtener una distancia de 0.40 m se selecciona el piñón delantero de ocho dientes y el trasero de siete dientes, y durante el trasplante la tolva se alimenta con plántulas en forma continua, es decir, se usan los conos 1, 2, 3 y 4. Si se desea el doble de esta distancia, o sea, sembrar a 0.80 m, se alimentan los conos 1 y 3 de la tolva; y si se quiere sembrar a una distancia cuatro veces mayor que la inicial, en cada vuelta se alimenta un solo cono de la tolva.

La profundidad de trasplante debe ser de 10 cm, que se puede alcanzar con el sistema hidráulico, o regulando el patín mediante la elevación de las ruedas traseras del implemento.



Figura 2. *Trasplante mecanizado de plántulas de caña de azúcar utilizando una máquina “Mechanical Transplanter Co.”, modelo 4000.*

Siembra

Cuadro 4. Distancias entre plántulas de caña de azúcar, según el piñón y los conos de la tolva que se utilicen en una trasplantadora “Mechanical Transplanter Company”.

No. del piñón		Distancia entre plántulas (cm)		
Delantero	Trasero	A	B	C ^a
7	7	47	94	188
7	8	53	106	212
7	9	58	116	232
7	10	65	130	260
7	11	76	152	304
8	7	40	80	160
8	8	46	92	184
8	9	54	108	216
8	10	60	120	240
9	7	37	74	148
9	8	42	84	168
9	9	46	92	184
10	7	33	66	132
10	8	34	68	136
11	7	30	60	120

a. Conos de la tolva alimentados: A = 1, 2, 3 y 4; B = 1 y 3; C = 1.

Las plántulas deben quedar en contacto con el suelo, lo que se logra regulando la distancia entre las llantas traseras de la trasplantadora. Posteriormente, se calibra el trasplante en un área determinada y se revisan los pasos anteriores hasta obtener la condición deseada.

Para calibrar la labor, el equipo se coloca de tal manera que el tractor se desplace por el centro del surco y la llanta de la trasplantadora lo haga tocando el fondo del mismo. Un operario, que va sentado en la máquina, coloca las plántulas en la tolva de siembra, mientras que un segundo obrero, que marcha a pie, revisa y corrige las plántulas que quedan mal sembradas (Figura 3).

4. El trasplante en los siguientes surcos se realiza en la misma forma. En una jornada de 8 horas es posible trasplantar 12,000 plántulas, aunque la eficiencia se puede aumentar colocando dos o tres trasplantadoras en la misma barra porta-implementos (CENICANA, 1992).

Labores culturales

Como labores adicionales, se construyen las acequias para riego y drenaje. El riego se debe aplicar durante la hora siguiente al trasplante, preferiblemente por gravedad (Figura 4); en lo posible, con sifones de 2 pulgadas de diámetro, los cuales conducen al surco una cantidad de agua que no arrastra las plántulas. Los riegos



Figura 3. *Trasplante mecanizado de plántulas de caña de azúcar.*



Figura 4. *Riego de una "suerte" de caña de azúcar sembrada en forma mecanizada. Valle del Cauca, Colombia.*

Siembra

posteriores se deben programar teniendo en cuenta el desarrollo radical de las plántulas; por lo general, el segundo riego se aplica 10 días después de la siembra.

Referencias

- CENICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). 1991. Programa de Variedades. En: Informe anual de labores. 1990. Cali. p. 126-129.
- _____. 1992. Programa de variedades. En: Informe mensual de labores. Septiembre de 1992. Cali. p. 11.
- Dillewijn, C. Van. 1951. Botánica de la caña de azúcar. Instituto del Libro. 460 p.
- Gómez, A. F. 1975. Caña de azúcar. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP), Caracas, Venezuela. p. 669.
- Gómez, P. J. 1986. Semilleros y siembra de caña de azúcar. En: El cultivo de la caña de azúcar. Memorias del curso dictado en la ciudad de Cali. Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). p. 141-153.

Control de Malezas

Jaime F. Gómez P.*

Como maleza se considera toda planta que crece fuera de su sitio e invade otro cultivo en el cual causa más perjuicio que beneficio. Las malezas se caracterizan por su capacidad para sobrevivir en condiciones ambientales adversas; en la caña de azúcar son comunes las de hoja ancha y de hoja angosta —gramíneas y ciperáceas—. Estas últimas, cuando se reproducen por rizomas, son difíciles de controlar.

El desarrollo inicial de la planta de caña es lento; por lo tanto, si en esta época crítica no se eliminan las malas hierbas, la población y la producción del cultivo pueden reducirse hasta en 40%. Por el contrario, si los campos se mantienen libres de malezas hasta que las plantas cubran la superficie del suelo, la sombra que producen éstas y su rápido crecimiento impedirán que durante la fase productiva del cultivo aparezcan malas hierbas (Calderón y Saldarriaga, 1969).

Pérdidas que Ocasionan las Malezas en el Cultivo de la Caña

Las pérdidas que ocasionan las malezas en la producción mundial de cosechas agrícolas, hortalizas y frutales son, en promedio, de 10% (Robbins et al., 1955). En el valle geográfico del río Cauca, estas pérdidas pueden llegar a 30% ó 40% (De la Cruz y Gómez, 1971).

La capacidad de la planta de caña para competir con las malezas se relaciona con la variedad. Las variedades precoces MZC 74-275, CC 84-75 y 85-92 compiten favorablemente con las malezas debido a su rápido desarrollo y buen macollamiento. Por el contrario, las variedades V 71-51, CC 83-25, PR 11-41 y 61-632 y Co 421 tienen lento crecimiento y, en consecuencia, su capacidad de competencia con las malezas es menor.

Por otra parte, en las socas la competencia de las malezas es menor que en la plantilla, ya que en las primeras el desarrollo de los nuevos brotes es más rápido. En la plantilla, las prácticas de preparación del suelo y de siembra favorecen la proliferación de malezas las cuales, por lo general, germinan primero que el material de siembra de la caña. De la Cruz y Gómez (1971) encontraron que la competencia de las malezas en el establecimiento de la plantilla se inicia 15 días después de la siembra y puede durar hasta 6 meses en las variedades tardías y

* Jaime F. Gómez es Ingeniero Agrónomo, MSc. en suelo y aguas. Ingenio Manuelita.

hasta 5 meses en las variedades precoces. En las socas, la competencia de las malas hierbas ocurre por lo general entre 30 y 150 días después del corte.

Otros factores que determinan la invasión de malezas en el cultivo son el tipo de suelo, las características del clima en la zona y las prácticas de cultivo utilizadas. En los suelos ácidos del valle geográfico del río Cauca es común encontrar dentro de las plantaciones de caña: pasto braquiaria (*Brachiaria* sp.), liendre puercos (*Echinochloa* sp.) y escoba dura (*Sida rhombifolia*); en los suelos neutros son frecuentes la pajamona (*Leptochloa filiformis*), el coquito (*Cyperus* sp.), la pata de gallina (*Eleusine indica*), el bledo (*Amaranthus* sp.), la verdolaga (*Portulaca oleracea*) y la batatilla (*Ipomea* sp.), mientras que en los suelos alcalinos, salinos y sódicos predominan el pasto Argentina (*Cynodon dactylon*), la atarraya (*Kallstroemia maxima*), el pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y el pasto pará (*Brachiaria mutica*).

Malezas Frecuentes

Debido a la variedad de condiciones de clima y suelos donde se cultiva la caña de azúcar, es frecuente encontrar varios tipos de malezas. En el Cuadro 1 se incluyen las malezas más frecuentes en el valle geográfico del río Cauca.

Cuadro 1. **Malezas frecuentes en el cultivo de la caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca, y grado de competencia que presentan.**

Nombre científico	Nombre vulgar	Persistencia	Grado de competencia
Gramíneas			
<i>Cyperus rotundus</i>	Coquito	Perenne	1
<i>Cyperus ferax</i>	Cortadera	Perenne	2
<i>Rottboelia exaltata</i>	Caminadora	Anual	1
<i>Leptochloa filiformis</i>	Pajamona	Anual	2
<i>Echinochloa colonum</i>	Liendre puercos	Anual	2
<i>Cynodon dactylon</i>	Pasto Argentina	Perenne	1
<i>Cynodon nlemfuensis</i>	Pasto estrella	Perenne	1
<i>Sorghum halepense</i>	Pasto Jhonson	Perenne	1
<i>Panicum maximum</i>	Pasto guinea	Perenne	1
Hoja ancha			
<i>Ipomea</i> sp.	Batatilla	Anual	1
<i>Mimosa pudica</i>	Zarza	Perenne	1
<i>Phaseolus latyroides</i>	Frijolillo	Anual	2
<i>Portulaca oleracea</i>	Verdolaga	Anual	2
<i>Sida rhombifolia</i>	Escoba	Perenne	2
<i>Desmodium tortuosum</i>	Pega-pegas	Anual	2
<i>Mucuna pruriens</i>	Pica-pica	Perenne	1
<i>Amaranthus spinosus</i>	Bledo	Anual	2
<i>Euphorbia heterophila</i>	Lechosa	Anual	2

Grado de competencia: 1 = Altamente invasora, 2 = Medianamente invasora.

Métodos para el Control

Para el control eficiente de malezas en caña de azúcar es necesario tener en cuenta los factores siguientes: (1) las especies de las malezas predominantes, (2) el área y la localización de la invasión de malezas, (3) el estado de desarrollo de las malezas y su relación con el crecimiento del cultivo, (4) el equipo disponible para el control, y (5) las condiciones de clima y el contenido de humedad en el suelo en el momento de iniciar el control.

Por lo general, las malezas con ciclo de crecimiento anual se controlan mediante la destrucción de su parte aérea con cortes frecuentes o con la aplicación de herbicidas; de esta manera se impide la producción de semillas. Por el contrario, las malezas perennes son más difíciles de controlar, ya que además de producir semillas, poseen órganos subterráneos que les permite almacenar nutrimentos y asegurar su persistencia.

Control manual

Este método de control se hace con palas o azadones y es más común en socas que en plantilla, ya que en este último caso se pueden ocasionar daños a las plántulas que emergen. Calderón y Saldarriaga (1969) estiman que con el control manual de malezas se puede destruir hasta 20% de los brotes de la caña. Además es costoso, requiere más mano de obra y es menos efectivo que otros métodos.

Control mecánico

Se utiliza en áreas extensas de cultivo. Se puede hacer con rastrillo de discos o con escardillos (chuzos) y la eficiencia, en tiempo requerido para la labor, es alta y su costo es bajo. Es más eficiente cuando la planta de caña aún no se ha desarrollado y se presenta una baja humedad, ya que existe el riesgo de compactación del suelo por el uso de la maquinaria y, en muchos casos, las malezas rebrotan de nuevo.

Control químico

En la actualidad existen varios herbicidas químicos que se utilizan con éxito en el cultivo de la caña. El uso de estos productos hace parte de las labores normales del cultivo en la mayoría de los ingenios del valle geográfico del río Cauca. Los herbicidas se agrupan en las categorías: de contacto, reguladores del crecimiento y esterilizadores del suelo.

Herbicidas de contacto. Actúan únicamente sobre aquellas partes de la planta con las cuales entran en contacto. Pueden ser selectivos o de acción general; los primeros matan sólo ciertas plantas, dejando las demás intactas, mientras que los segundos causan daño a la vegetación en general.

Reguladores de crecimiento. Se conocen también como modificadores de crecimiento, sustancias de crecimiento, herbicidas de traslocación y herbicidas sistémicos. Una vez se aplican a la planta, se traslocan por el xilema y el floema y de esta forma, afectan órganos como las raíces y los puntos de crecimiento activo.

Aplicación de los Herbicidas

Los herbicidas se formulan como soluciones, emulsiones, polvos mojables, granulados y polvos, que se pueden aplicar en forma localizada en una parte de la planta o en aspersión sobre la superficie del suelo o el cultivo. Los equipos más utilizados para la aplicación de los herbicidas se detallan a continuación.

Bomba de espalda

Tiene una capacidad aproximada de 16 litros. Para cargar la solución del herbicida e inyectar el aire a presión, se requiere una bomba tipo duplex. Es de presión variable y debido a ello durante los minutos iniciales de la aplicación se presenta una sobredosis del producto y hacia el final de la misma puede ocurrir una disminución significativa en la concentración de éste. No obstante, la aplicación se puede regular con la ayuda de un manómetro que se instala en la bomba.

Equipo tipo Zaes Medina

Este equipo consta de un tanque de acero inoxidable con capacidad para 5000 litros de la solución, un compresor para el llenado de las bombas de aspersión a una presión constante y una válvula reguladora de la presión (Figura 1).



Figura 1. Equipo "Zaes Medina" para aplicación de hervicidas en caña de azúcar.

Tiene, entre otras ventajas, las siguientes: (1) Permite hacer las aplicaciones en suelo húmedo y en el momento oportuno, ya que su operación es posible en cualquier época de desarrollo del cultivo. (2) Debido a la humedad en el suelo, la mezcla de los herbicidas es activa y, muchas veces, con una sola aplicación es posible eliminar las malezas sin ocasionar daños a la caña. (3) Reduce el uso de maquinaria y mano de obra, lo cual disminuye los costos de aplicación y se evita la compactación del suelo.

Todos los equipos de aspersión poseen una o más boquillas, que regulan la uniformidad en la aplicación del producto, la cual, a la vez, está determinada por el número y el tamaño de las gotas. Cuando la aplicación se hace a baja presión, el producto sale en forma de una película líquida que forma gotas sobre las hojas de la planta debido a las fuerzas de tensión superficial. Cuando la presión es alta, el producto sale en forma de neblina y las gotas se forman directamente en la boquilla como resultado de la pérdida de la fuerza hidráulica.

Las boquillas más comunes son del tipo abanico o cortina de inundación T.K., en las cuales el líquido sale formando un ángulo superior a 120°.

Epocas de Aplicación de los Herbicidas

Preemergente

La aplicación de preemergencia se realiza entre 10 y 12 días después de la siembra y antes de que el material de siembra germine. Este tipo de aplicación requiere buena humedad en el suelo y una aplicación a presión constante.

Posemergente

Esta aplicación se hace después de la germinación de la caña y las malezas y antes de que estas últimas alcancen una altura superior a 10 cm. Se debe realizar cuando las malezas presentan una cobertura superior a 40% del área de cultivo.

Herbicidas de Aplicación Frecuente en Caña de Azúcar

Triazinas y ureas sustituidas

La planta absorbe los herbicidas de estos grupos a través del tejido foliar o los toma del suelo por las raíces. Estos compuestos afectan el proceso de la fotosíntesis, produciendo clorosis y muerte de los tejidos.

Herbicidas fenoxi y benzoicos

Son productos hormonales que se traslocan por el xilema y el floema de la planta (sistémicos). Son específicos para controlar malezas en cultivos de gramíneas, siendo el 2,4-D-A el más común en caña de azúcar.

MSMA

Es un herbicida no hormonal de acción sistémica, que pertenece a los derivados orgánicos. Se aplica en posemergencia para el control de gramínea en cultivos de caña.

Formulación de los Herbicidas

Polvos mojables

Su ingrediente activo se encuentra rodeado de partículas sólidas. Son inestables, por lo tanto requieren de una agitación continua al momento de la aplicación.

Concentrados emulsionables

El ingrediente activo se encuentra diluido en solventes como el xileno, la acetona y el alcohol más un agente emulsificante.

Polvos solubles

En estas formulaciones, el ingrediente activo se incluye en partículas sólidas que se disuelven en contacto con el agua formando soluciones estables.

Líquidos en suspensión

El ingrediente activo finamente dividido se encuentra en suspensión en un medio acuoso. La suspensión es muy estable, pero requiere de una ligera agitación durante la aplicación.

Surfactantes

Los surfactantes son productos químicos capaces de ocasionar cambios en la superficie de los líquidos; en las interfases entre dos líquidos, o entre un líquido con un gas o con un sólido. Por su acción se clasifican como iónicos y no iónicos. Los primeros pueden ser catiónicos, si su carga es positiva o aniónicos si es negativa. Los surfactantes catiónicos son agentes humectantes y detergentes, mientras que los no iónicos son emulsificantes, son estables en el agua dura y se pueden utilizar en soluciones ácidas. Los surfactantes se clasifican, según su modo de acción, en los grupos siguientes:

Humectantes

Disminuyen la tensión superficial de las gotas del producto aplicado, lo cual facilita el cubrimiento de la superficie asperjada.

Adherentes

Este tipo de surfactante actúa como un pegante que ayuda a la fijación del herbicida sobre las partes de la planta, favoreciendo de esta manera su acción por un tiempo más prolongado.

Emulsificantes

Estos productos hacen posible la mezcla de sustancias que normalmente no se mezclan; por ejemplo, el agua y el aceite. Cada molécula del emulsificante tiene un principio lipofílico que se une a las moléculas grasas del plaguicida y otro principio hidrofílico que se une a la fase líquida, permitiendo el equilibrio y evitando la ruptura de las moléculas afines.

Dispersantes

Son sustancias que reducen la cohesión entre partículas y mantienen la estabilidad de las suspensiones, evitando la sedimentación de los herbicidas dentro de los tanques de aplicación.

Métodos Utilizados para el Control de Malezas en Tres Ingenios Azucareros del Valle del Cauca

Los métodos de control de malezas y las dosis de herbicidas aplicadas varían en los diferentes ingenios azucareros del valle geográfico del río Cauca. A continuación se presentan algunos casos.

Ingenio A

En este ingenio, los suelos son, en su mayoría, arcillosos. Las malezas predominantes son pajamona, coquito, caminadora, frijolillo y batatilla. Durante el establecimiento de la plantilla no se aplican herbicidas y el control de malezas se hace por métodos mecánicos (escarificada) a 20 cm de profundidad en el suelo. En los retoños, 8 días después del corte se hace una subsolada a 55 cm de profundidad y a los 30 días se hace una escarificación a 25 cm. La fertilización incorporada se hace a los 45 días y a los 60 días se realiza un aporque. La aplicación de herbicidas posemergentes se realiza entre 30 y 120 días, dependiendo del grado de invasión de las malezas.

En este ingenio, para la aplicación de herbicidas se emplean equipos "Metalagro", similares al equipo Zaes Medina, con capacidad para 4200 litros. Las boquillas utilizadas tienen una presión de salida de 30 P.S.I. y un rendimiento aproximado de 2.2 hectáreas por día.

Herbicidas aplicados y dosis utilizadas. El tipo y las dosis de herbicidas que se aplican en los campos de este ingenio dependen de las malezas predominantes. En el Cuadro 2 se incluyen los métodos químicos más utilizados.

Cuadro 2. Métodos y dosis de aplicación de herbicidas en el ingenio A. Valle geográfico del río Cauca, Colombia.

Aplicación	Dosis (/ha)	Observación
Posemergente		
(1) Ametrina	2.5 lt	Predominio de flora mixta con batatilla
Diurón polvo	1.5 kg	
2,4-D.A.(6)	1.5 lt	
Surfactante	0.2 lt	
(2) Ametrina	2.5 lt	Predominio de frijolillo en la flora mixta
Diurón polvo	1.5 kg	
Tordon	1.5 lt	
Surfactante	0.2 lt	
(3) Ametrina	2.5 lt	Presencia de cultivos susceptibles a 2,4-D.A.(6)
Diurón polvo	1.5 kg	
Ally	15.0 g	
Surfactante	0.2 lt	

Ingenio B

Los suelos en este ingenio varían entre francos y franco-arcillosos. En los campos predominan las malezas pajamona, coquito, caminadora, frijolillo, batatilla, cyperaceas, verdolaga y blede.

En plantilla, el control de malezas se realiza en preemergencia a los 10 días mediante la aplicación de herbicidas, a los 50 días con un cultivo mecánico y, cuando es necesario, se hace una aplicación de posemergencia. En socas, el control se hace inicialmente mediante una subsolada y posteriormente con aplicaciones posemergentes de herbicidas.

Para las aplicaciones se usan equipos de presión constante de la marca Zaes Medina. En las aplicaciones de preemergencia se usan boquillas TK .3 y en las de posemergencia TK 1.5, con una presión de 30 P.S.I. en ambos casos.

Herbicidas empleados y dosis aplicadas. Para las aplicaciones se utilizan las mezclas que se presentan en el Cuadro 3.

Ingenio C

En este ingenio, los suelos son arcillosos (45%), franco-arcillosos (45%) y francos (10%). Las malezas que predominan en los cultivos de caña son iguales a las que predominan en los ingenios A y B.

En plantilla se aplican herbicidas preemergentes y posemergentes entre 30 y 90 días después de la siembra más un aporque a los 90 días. En socas, se realiza una escarificada a 30 cm de profundidad 15 días después del corte, y aporques a

Cuadro 3. **Métodos y dosis de aplicación de herbicidas en el ingenio B. Valle geográfico del río Cauca, Colombia.**

Aplicación	Dosis (lt/ha)	Observación
Preemergente en plantilla		
(1) Gesapax Combi 500 FW 2,4-D.A.(6) ^a Surfactante	6.0 1.5 0.2-0.4	Predominio de malezas de hoja ancha solas o en mezcla con gramíneas
(2) Gesapax Combi 500 FW Surfactante	7.0 0.2-0.4	Presencia de cultivos susceptibles a 2,4-D.A(6)
(3) Gesapax Combi 500 FW 2,4-D.A.(6)* Ansar Surfactante	4.0 1.0 1.5 0.2-0.4	Presencia de maíz, sorgo y pastos Argentina y pará, como malezas.
(4) 2,4-D.A.(6) Surfactante	3.0 0.4	Para retardar el crecimiento del coquito.
Posemergente en plantilla o en socas		
(1) Gesapax 500 FW Diurón 500 2,4-D.A.(6)* Surfactante	2.5 3.2 1.5 0.2-0.4	Predomina la caminadora.
(2) Gesapax 500 FW Caragard 500 2,4-D.A.(6)* Surfactante	2.5 3.0 1.5 0.2-0.4	Predominan gramíneas, pero no hay caminadora.
(2) Gesapax 500 FW 2,4-D.A.(6)* Surfactante	2.5 1.0 0.2-0.4	Predominio de malezas de hoja ancha.

a. También se puede aplicar Kuron-M en la misma dosis que el 2,4-D.A. (6)

los 80 y 90 días después del corte. Para la aplicación de herbicidas se emplean equipos Zaes Medina de 4000 litros y boquillas TK 2 con una presión de salida de 30 a 40 P.S.I.

Herbicidas empleados y dosis aplicadas. En este ingenio se utiliza una serie de mezclas de herbicidas, de acuerdo con el estado del cultivo y del tipo de malezas predominantes, tal como se presenta en el Cuadro 4.

Cuadro 4. **Métodos y dosis de aplicación de herbicidas en el ingenio C. Valle geográfico del río Cauca, Colombia.**

Aplicación	Dosis (/ha) ^a	Observación
Preemergente o posemergente en plantilla		
Ametrina + Atrazina (líquido), o Ametrina + Atrazina (polvo) Surfactante	6.4 a 7.2 4.0 a 4.5 0.2 a 0.5	Preemergente en plantilla
Ametrina + Atrazina (líquido), o Ametrina + Atrazina (polvo) 2,4-D.A.(6) Surfactante	6.4 a 7.2 4.0 a 4.5 1.0 a 1.5 0.2 a 0.5	Posemergente en plantilla para control de malezas de hoja ancha y coquito
Ametrina + Atrazina (líquido), o Ametrina + Atrazina (polvo) Diuron 80 (polvo), o Diuron 500 (líquido) 2,4-D.A.(6) Surfactante	4.0 a 4.5 2.5 a 3.1 1.5 a 2.5 2.4 a 4.0 1.0 a 1.5 0.2 a 0.5	Posemergente en plantillas y socas con presencia de caminadora
Ametrina (líquido) Ametrina (polvo) 2,4-D.A.(6) Surfactante	4.0 a 5.0 2.5 a 3.0 1.0 a 1.5 0.2 a 0.5	Posemergente en plantillas y socas sin presencia de caminadora

a. Las dosis de los productos en polvo se expresan en kg/ha, y en los líquidos en lt/ha.

Comentario

Es necesario tener presente que algunas variedades de caña son altamente susceptibles a la aplicación de herbicidas; por lo tanto, es necesario conocer el grado de tolerancia del cultivo y las condiciones de aplicación del producto.

Referencias

- Calderón, V. y Saldarriaga, A. 1969. Herbicidas en caña de azúcar. *Agric Trop. (Col.)* 25(10):636-644.
- De la Cruz, R. y Gómez, J. F. 1971. *Caña de azúcar*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). 261 p.
- Robbins, W. A.; Crafts, S.; y Raymor, R. N. 1955. *Destrucción de malas hierbas*. Unión Tipográfica Hispanoamericana. México. 531 p.

Fertilización y Nutrición

Rafael Quintero Durán*

Ecología del Cultivo

Clima

La caña de azúcar se adapta a un amplio rango de condiciones climáticas; pero se desarrolla mejor en regiones tropicales cálidas con amplia radiación solar (Humbert, 1974; De Geus, 1967). La temperatura óptima para el desarrollo de la caña de azúcar oscila entre 25 y 28 °C. Las altas temperaturas, conjuntamente con altas humedades en el suelo y en el aire, favorecen el desarrollo vegetativo, mientras que el ambiente seco y caliente promueve la maduración de la planta (De Geus, 1967).

En la zona azucarera del valle geográfico del río Cauca, los requerimientos totales de agua de la caña de azúcar, desde la siembra hasta la cosecha a los 13 meses, varían entre 843 y 1354 mm con un promedio de 1118 mm para la variedad CP 57-603, y entre 924 y 1439 mm con un promedio de 1175 mm para la variedad POJ 2878 (Yang y Torres, 1984). Por lo tanto, en zonas con precipitación anual baja y con distribución irregular, es necesario aplicar riegos suplementarios.

Suelos

La caña de azúcar crece bien en diferentes tipos de suelos, pero prefiere los francos o franco-arcillosos, bien drenados y profundos. El pH óptimo para su desarrollo es de 6.5 (ligera y ácido), aunque tolera suelos ácidos hasta alcalinos (Blackburn, 1984). Con un pH próximo o menor de 4.5, la acidez del suelo limita la producción, principalmente por la presencia de aluminio intercambiable y de algunos micronutrientes como hierro y manganeso que pueden ocasionar toxicidad y muerte de la planta.

Es necesario mencionar que los requerimientos de clima y suelo difieren de acuerdo con las variedades de caña y el manejo de éstas (Blackburn, 1984).

Características de los suelos del valle geográfico del río Cauca

La industria azucarera de Colombia está localizada principalmente en la parte plana del valle geográfico del río Cauca, cuya extensión aproximada es de 375,000 ha, de las cuales 185,000 se dedican a la producción de caña de azúcar. De acuerdo con el estudio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), en esta región hay

* Rafael Quintero es Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Edafólogo de CENICAÑA, Apartado Aéreo 9138, Cali, Colombia.

84 series de suelos de los órdenes Mollisol, Inceptisol, Vertisol, Entisol, Alfisol y Ultisol, que corresponden, respectivamente, a los porcentajes siguientes: 36, 26, 21, 10, 5 y 1 del área total (IGAC, 1980).

Los suelos de la parte plana son, en su mayoría, aluviales, y algunos de los del piedemonte son de origen coluvio-aluviales. En general, predominan los suelos franco-arcillosos con pH entre 5.5 y 7.0, contenidos de materia orgánica entre 2% y 4%, fósforo disponible superiores a 10 (mg/kg) (mg/kg = ppm) (Bray 2) y contenidos de potasio intercambiable superiores a 0.20 cmol/kg (1 cmol/kg = 1 meq/100 g) de suelo. La relación de Ca/Mg intercambiables es adecuada y los contenidos de estos nutrimentos en el suelo son altos.

Extracción de nutrimentos

Las plantas absorben los elementos minerales de las proximidades de las raíces; no obstante, la presencia de un elemento en particular en un cultivo determinado no es una prueba para considerarlo esencial para el desarrollo de dicho cultivo. Existen 16 elementos nutritivos esenciales para la caña de azúcar: el carbono, el hidrógeno y el oxígeno no son minerales y la planta los toma del bióxido de carbono y del agua (Tisdale y Nelson, 1966). Los nutrimentos restantes son: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. Los micronutrimentos son: boro, cinc, cloro, cobre, hierro, manganeso y molibdeno; estos últimos, aunque son necesarios para el normal desarrollo de la planta, se requieren en cantidades muy pequeñas.

La cantidad de nutrimentos que extrae un cultivo es diferente de acuerdo con la variedad, el tipo de suelo, las condiciones de clima y el manejo del cultivo. El conocimiento de los requerimientos de los cultivos es una ayuda valiosa en la ejecución de programas de fertilización, si se toma como base el resultado del análisis de fertilidad del suelo y de sus características físicas más importantes. Cuéllar et al. (citados por Martín et al., 1987) encontraron que la extracción de nutrimentos por cuatro variedades de caña de azúcar en tres tipos de suelos, varió entre 0.44 y 1.15 kg de N, 0.11 y 0.30 kg de P, y 0.77 y 2.19 kg de K por tonelada de tallos maduros cosechados. Fauconnier y Bassereau (1975) encontraron que en los tallos la extracción de nutrimentos fue: 0.72 kg de N, 0.18 kg de P, 1.22 kg de K, 0.12 kg de Ca, 0.20 kg de Mg y 0.27 kg de S, mientras que en los cogollos y en las hojas secas la extracción fue: 1.15 kg de N, 1.39 kg de P, 1.18 kg de K, 0.68 kg de Ca, 0.32 kg de Mg y 0.16 kg de S por tonelada de caña industrial.

Malavolta (1992) observó que por cada 100 toneladas de tallos de caña, la planta extrae entre 178 y 238 g de B, 138 y 271 g de Cu, 1486 y 6189 g de Fe, 758 y 1509 g de Mn, y 387 y 479 g de Zn. Estas cantidades corresponden a plantillas establecidas en tres tipos de suelos. La extracción de micronutrimentos en este estado es superior a la de las socas.

En un Inceptisol del valle geográfico del río Cauca se encontró que por cada 100 toneladas de tallos listos para molienda, la variedad CENICANA Colombia (CC) 83-25 produjo 25 toneladas de hojas y 15 toneladas de yaguas. Con base en el análisis de cada uno de estos componentes de la planta, se estimó que la

extracción total de nutrimentos (en kilogramos) por cada tonelada de tallos que se cosechó, fue: N = 1.53, P = 0.43, K = 2.85, Ca = 1.15 y Mg = 0.43. Debido a la descomposición paulatina de las hojas y las yaguas que permanecen en el campo como residuos de cosecha, la extracción real de nutrimentos por cada tonelada de tallos fue: 0.70, 0.22, 1.38, 0.19 y 0.20 kg de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente.

Estas diferencias entre las extracciones total y real de nutrimentos por la planta de caña, indican la importancia del manejo de los residuos de cosecha, no solamente por sus contenidos de nutrimentos, sino también por sus efectos en las condiciones físicas de los suelos.

Nitrógeno

El nitrógeno es un componente esencial de las células vivas y se encuentra principalmente en las partes jóvenes de la planta en estado de crecimiento (Millar, 1964; Millar et al., 1978). La planta lo absorbe por las raíces o por las hojas en forma de NO^{-3} y NH_4^{+} (Russell y Russell, 1968); una vez dentro de la planta, se reduce y transforma en carbohidratos y, finalmente, en proteínas. Además de su importancia para la formación de carbohidratos y proteínas, el nitrógeno es un constituyente esencial de la molécula de clorofila (Tisdale y Nelson, 1966); por lo tanto, influye en la coloración del follaje y en el tamaño de las cepas de la caña de azúcar.

Deficiencia de nitrógeno

La deficiencia de nitrógeno en la planta se manifiesta por la presencia de una coloración verde amarilla, especialmente en las hojas inferiores; cuando la deficiencia es severa, las puntas de las hojas se secan y este secamiento avanza hacia la parte media de la hoja por la nervadura central. Se observa también escaso desarrollo de las cepas y escaso número de tallos por metro lineal.

Requerimientos de nitrógeno

Los experimentos realizados en el valle geográfico del río Cauca sobre fertilización de la caña de azúcar, permiten establecer que el nitrógeno es el nutrimento que más limita la producción de este cultivo, y que los requerimientos varían con el tipo de suelo, el número de cortes y la variedad utilizada.

Las principales características del suelo que influyen en la aplicación de nitrógeno son: el contenido de materia orgánica (M.O.), el drenaje y la profundidad del nivel freático. Los mayores requerimientos de este nutrimento se han encontrado en suelos con bajo contenido de M.O., muy pobremente drenados y con niveles freáticos muy superficiales en algunas épocas del año. Para las condiciones climáticas predominantes en la zona azucarera del valle geográfico del río Cauca, se han establecido tres categorías de suelo, según el contenido de M.O.:

Categoría de suelo	Contenido de M.O. (%)
Baja	Menor de 2
Mediana	Entre 2 y 4
Alta	Mayor de 4

Estas categorías están relacionadas con la probabilidad de obtener respuesta a las aplicaciones de nitrógeno, así, a menor contenido de M.O. mayor será la respuesta a la aplicación de N. Una vez determinada la dosis, ésta se puede aumentar si el suelo presenta limitaciones por mal drenaje y nivel freático superficial.

En el Cuadro 1 se presentan las recomendaciones de nitrógeno para plantilla y socas, cultivadas en las condiciones ecológicas del valle geográfico del río Cauca. Estas recomendaciones están sujetas a modificaciones de acuerdo con los resultados de las nuevas investigaciones sobre los requerimientos de nitrógeno del cultivo.

En la plantilla o primer corte generalmente se recomiendan entre 40 y 140 kg/ha de nitrógeno; no obstante, en algunos ensayos realizados en suelos con contenidos relativamente altos de M.O. y bien drenados, no se ha encontrado respuesta a la aplicación de nitrógeno en la plantilla. En los cortes posteriores (socas) es necesario aplicar mayores cantidades de nitrógeno que en la plantilla; en este caso, las dosis varían entre 75 y 200 kg/ha (Figura 1). El incremento en los requerimientos de fertilizantes nitrogenados se debe a la disminución en el aporte de nitrógeno por la M.O., como consecuencia de la compactación del suelo resultante de las labores de cosecha, lo cual afecta el proceso de nitrificación.

Entre las variedades de caña cultivadas es posible observar diferencias en el contenido de nitrógeno y, especialmente, en la relación nitrógeno/potasio del tejido foliar, lo que sugiere la inconveniencia de aplicar en todas las variedades dosis similares de nitrógeno. Algunas variedades desarrolladas por CENICAÑA, entre ellas: CC 83-25 y 84-75, presentan alto contenido de nitrógeno foliar y una coloración verde-oscura en su follaje, lo cual puede indicar que estas variedades

Cuadro 1. Cantidades de nitrógeno (kg/ha)^a que se recomienda aplicar en plantilla (P) y en soca (S) de caña de azúcar en suelos de la parte plana del valle geográfico del río Cauca, según el contenido de M.O. y del drenaje del suelo (primera aproximación).

M.O. en el suelo (%)	Drenaje del suelo					
	Bueno		Pobre		Muy pobre	
	P	S	P	S	P	S
< 2	80	125	100	150	120	175
2 - 4	60	100	80	125	100	150
> 4	40	75	60	100	80	125

a. En suelos con niveles freático superficial, la dosis de nitrógeno se debe aumentar en 20 kg/ha.

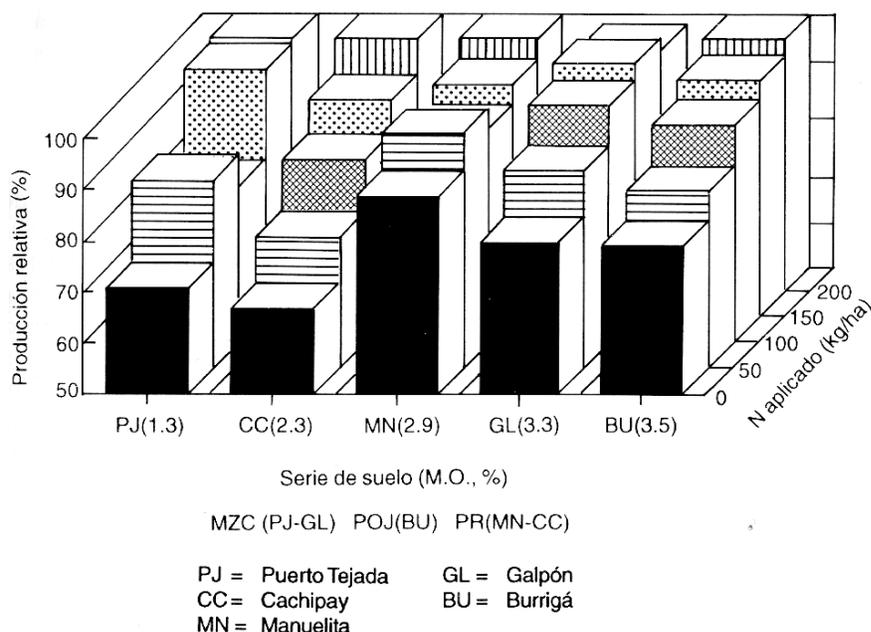


Figura 1. Producciones relativas de la segunda soca de las variedades de caña MZC 74-275, POJ 2878 y PR 61-632, cultivadas con diferentes dosis de nitrógeno en series de suelos con contenidos variables de M.O. Valle geográfico del río Cauca, Colombia.

tienen una alta capacidad para absorber este nutrimento; por lo tanto, las dosis de nitrógeno consideradas adecuadas para otras variedades pueden retrasar el proceso de maduración y disminuir la concentración de sacarosa del jugo de las variedades antes mencionadas.

En general, la aplicación de nitrógeno en el suelo aumenta el contenido de este nutrimento y disminuye el de potasio en el tejido de la lámina foliar; igualmente, disminuye el contenido de sacarosa en los tallos; sin embargo, en los suelos que tienen una alta respuesta a la aplicación de nitrógeno —Vertic Tropaquent y Vertic Tropic Fluvaquent— las aplicaciones de éste aumentan la concentración de sacarosa en los tallos de la planta.

Se ha encontrado que el contenido de nitrógeno en las hojas de plantas de 3 meses de edad se correlaciona de manera significativa con las producciones de caña y de azúcar, lo que permite establecer niveles críticos a edades tempranas para corregir en forma oportuna una posible deficiencia de este elemento.

Las fuentes de nitrógeno más utilizadas son la urea (46% de N), el sulfato de amonio (21% de N), el amoníaco anhidro (82% de N) y el fosfato diamónico o DAP (18% de N y 20% de P). Los ensayos con las variedades de caña CP 72-356 y MZC 74-275, realizados en Vertisoles, Inceptisoles y Mollisoles, indican que la

respuesta a nitrógeno es similar, independiente de la fuente utilizada. En consecuencia, la aplicación de una fuente determinada dependerá, principalmente, de las ventajas económicas que ofrezca.

Epoca de aplicación de nitrógeno

La época de aplicación es otro aspecto importante en el manejo de la fertilización nitrogenada. Los resultados experimentales obtenidos en suelos franco-arcillo-arenosos y arcillosos mostraron diferencias entre variedades en relación con la respuesta a la época más apropiada para la aplicación de este nutrimento. Con las variedades MZC 74-275 y POJ 2878, las mayores producciones de caña y de azúcar se obtuvieron cuando el nitrógeno se aplicó en una sola dosis 30 días después de la siembra o del corte, mientras que con la variedad PR 61-632 los mejores resultados se obtuvieron cuando el nutrimento se aplicó fraccionado en partes iguales a los 60 y 120 días después de la siembra o del corte. El comportamiento diferente de la variedad PR 61-632 se explica por su lento desarrollo, ya que su máximo crecimiento ocurre en una época más tardía que en las variedades anteriores. En estos ensayos se encontró que el nitrógeno fue menos eficiente cuando se aplicó en el suelo al momento de la siembra o del corte. Con respecto al efecto en la concentración de sacarosa, los contenidos más bajos en el jugo correspondieron a las aplicaciones fraccionadas de N a los 60 y 120 días después de la siembra o del corte. En las investigaciones mencionadas, las aplicaciones de N se hicieron en banda e inmediatamente este nutrimento se incorporó en el suelo, pero cuando la aplicación se hizo a los 120 días de edad, el fertilizante se colocó en la superficie y no se tapó para simular la aplicación comercial.

Fósforo

El fósforo, al igual que el nitrógeno y el potasio, se considera un nutrimento primario. Las plantas lo absorben principalmente en la forma de $H_2PO_4^-$ y en menor proporción como HPO_4^{2-} (Tisdale y Nelson, 1966). Es un constituyente importante de los ácidos nucleicos, de los fosfolípidos y del adenosin trifosfato (ATP). Este último compuesto es importante para los procesos metabólicos que requieren energía. Además es esencial para la síntesis de la clorofila y está íntimamente relacionado con la formación de la sacarosa.

Deficiencia de fósforo

La deficiencia de fósforo reduce el macollamiento y el desarrollo de la planta, a la vez que origina raíces anormales de color marrón (Wardle, 1968; Humbert, 1974). En la variedad MZC 74-275 es común encontrar manchas de color púrpura en las hojas inferiores, cuando se cultiva en suelos deficientes en fósforo. Por otra parte, un exceso de este nutrimento puede perjudicar el crecimiento de las plantas, ya que induce deficiencias de micronutrientes como cinc y hierro.

Requerimientos de fósforo

En la zona azucarera del valle geográfico del río Cauca, la respuesta de la caña a la aplicación de fósforo ha sido escasa, contrario a lo encontrado con la aplicación de nitrógeno. Los resultados de las investigaciones sólo mostraron una ligera tendencia a incrementar la producción de caña y de azúcar cuando este nutrimento se aplicó en un suelo Vertic Tropaquept con 0.9 mg/kg (mg/kg = ppm) (Bray 2) de fósforo disponible.

Aunque en algunos suelos se han observado incrementos en el contenido de fósforo en las hojas de la caña, como resultado de la aplicación de este nutrimento, no se ha encontrado relación entre estos contenidos foliares y la producción de caña/ha.

Varios investigadores han encontrado relaciones significativas entre el contenido de fósforo disponible en el suelo y el contenido de fosfatos en los jugos de la planta; sin embargo, en suelos del valle geográfico del río Cauca es posible encontrar en jugos de la primera extracción de cultivos de caña, contenidos de fosfatos y almidones que varían entre bajos y altos, independientemente de la disponibilidad de P en el suelo (Figura 2). Por otra parte, no se ha encontrado una relación definida entre el aumento de los fosfatos en el jugo de la planta y la aplicación de fósforo en el suelo; lo anterior se observó en una serie de experimentos en diferentes suelos, donde sólo en un Typic Pellustert de la serie Esneda con 7 mg/kg (Bray 2) se encontró que los fosfatos del jugo de la planta aumentaron ligeramente al incrementar la dosis de fósforo aplicada; no obstante, con la dosis máxima de 66 kg/ha de P, el contenido de fosfatos en el jugo fue de 236 mg/kg, el

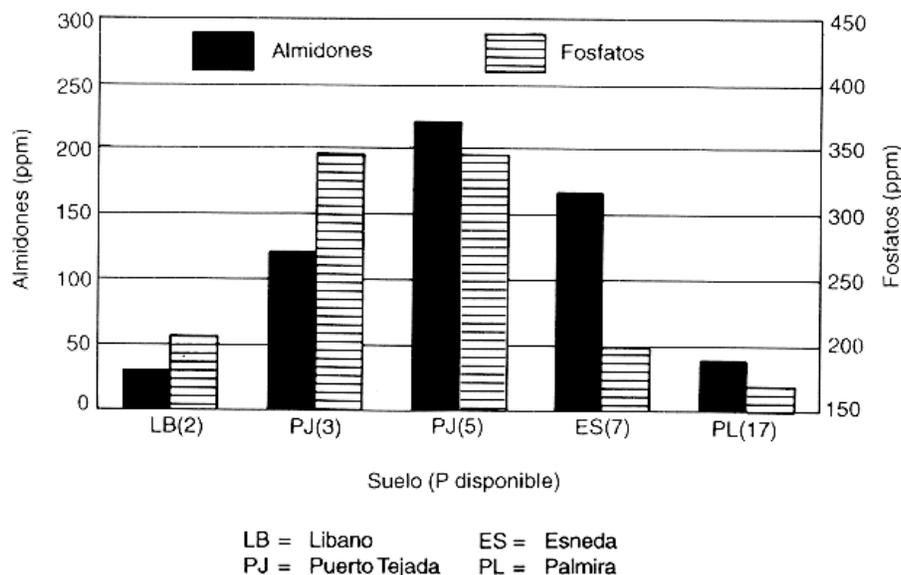


Figura 2. Variación en los contenidos de almidones y fosfatos en el jugo de la plantilla de la variedad de caña MZC 74-275 en relación con los contenidos de fósforo disponible (Bray 2) en varias series de suelo. Valle geográfico del río Cauca, Colombia.

cual se considera bajo. Lo anterior sugiere que en estas condiciones es, quizá, más conveniente aplicar ácido fosfórico durante el proceso de clarificación de los jugos —especialmente cuando se presentan contenidos altos de almidones (> 100 mg/kg) y bajos de fosfatos (< 300 mg/kg)— antes de tratar de aumentar el contenido de fosfatos en el jugo mediante la aplicación en el suelo de altas dosis de fertilizantes fosforados.

De acuerdo con los resultados de las investigaciones realizadas en el valle geográfico del río Cauca, en forma tentativa se han establecido los siguientes niveles críticos de fósforo disponible en el suelo, determinados por el método Bray 2:

Categoría	Fósforo disponible (mg/kg)
Baja	< 5
Mediana	5 - 10
Alta	> 10

En las condiciones edáficas de esta región, la dosis de P que se recomienda aplicar, varía entre 0 y 22 kg/ha (1 kg de P = 2.29 kg de P_2O_5). En términos generales, se considera que en los suelos con contenidos altos de fósforo disponible (> 10 mg/kg) no se justifica la aplicación de este nutrimento.

Las fuentes comerciales de fósforo más utilizadas son el superfosfato triple (20% de P y 14% de Ca), el fosfato diamónico o DAP (20% de P y 18% de N) y la roca fosfórica (9.6% de P y 28% de Ca). Esta última se aplica principalmente en suelos fuertemente ácidos del norte y del sur de esta zona azucarera. También se utilizan la cachaza y la “cenichaza”, dos fuentes orgánicas de fósforo, que contienen además otros elementos mayores y menores.

Debido a la poca movilidad del fósforo en el suelo, su aplicación se debe hacer en el área próxima al sistema radical de la planta; por lo general, en la plantilla se aplica en el fondo del surco al momento de la siembra, con el fin de estimular el desarrollo inicial de las raíces. Cuando es necesario, en la soca se aplica en banda e incorporado al suelo junto con el nitrógeno, 30 días después del corte.

Potasio

Las plantas absorben potasio en la forma elemental (K^+). Es un elemento muy móvil dentro de la planta e importante en la formación de aminoácidos y proteínas (Russell y Russell, 1968). Aunque no forma parte de los compuestos metabólicos, es necesario para el metabolismo de los carbohidratos, la síntesis de proteínas, el control y la regulación de las actividades de varios elementos esenciales, la neutralización de ácidos orgánicos, la activación de varias enzimas, el crecimiento de meristemos y el movimiento de los estomas. En la caña de azúcar, el potasio regula las actividades de la invertasa, la amilasa, la peptasa y la catalasa (Tisdale y Nelson, 1966).

Deficiencia de potasio

Las plantas que crecen en suelos deficientes en potasio presentan baja actividad fotosintética y son susceptibles a enfermedades y a estrés por sequía. Los síntomas de deficiencia de potasio en caña de azúcar se manifiestan como un marcado amarillamiento de las hojas, especialmente en el ápice y los márgenes, que termina con el necrosamiento de las áreas afectadas. En las hojas más viejas aparecen, con frecuencia, puntos cloróticos de color carmelita con el centro necrótico que pueden invadir toda la lámina foliar (Martín y Evans, citado por Martín et al., 1987). Según Hartt (citado por Silva y Casagrande, 1983), las manchas rojizas que aparecen en las células epidérmicas de la nervadura central de plantas con déficit de potasio, se deben al enrojecimiento de la sacaritina que es un constituyente de la lignina.

Requerimientos de potasio

La respuesta de la caña a la aplicación de potasio en los suelos de la zona azucarera del valle geográfico del río Cauca ha sido escasa. En la mayoría de estos suelos se ha observado que el contenido de este nutrimento en la lámina foliar tiende a aumentar con la edad del cultivo, mientras que el de nitrógeno tiende a disminuir; por lo tanto, la relación nitrógeno/potasio en la hoja es menor a medida que avanza la edad de la planta.

Al comparar la relación nitrógeno/potasio del tejido foliar en plantas de 6 meses de edad, se encontró que ésta tiende a disminuir cuando aumenta el número de cortes de la caña de azúcar; además se observaron diferencias entre variedades, especialmente entre la variedad PR 61-632 y las variedades MZC 74-275 y POJ 2878. La primera presentó relaciones entre 1.3 y 1.7 en plantilla y entre 1.3 y 2.5 en socas, mientras que en la plantilla de la variedad MZC 74-275, la relación fue aproximadamente de 1.0, y en la soca varió entre 0.8 y 1.0. La amplia relación nitrógeno/potasio, observada en la variedad PR 61-632, se debe, posiblemente, a una baja capacidad de la planta para absorber potasio del suelo y explica, en parte, la presencia de hojas de color amarillo, especialmente desde la mitad hacia el ápice de la planta, y el bajo contenido de sacarosa en los jugos.

Los datos en el Cuadro 2 muestran que la aplicación de 83 kg/ha de K después de cada corte en las variedades PR 61-632 y POJ 2878, resultó en aumentos en la producción de caña, especialmente en las socas. Es importante notar el aumento en la concentración del azúcar recuperable estimado (ARE) de la variedad PR 61-632 como resultado de la aplicación de potasio, ya que el bajo rendimiento es, quizá, la característica que más limita la propagación de esta variedad. De la misma manera, en un Vertic Tropaquept la aplicación de potasio aumentó el ARE en la plantilla de la variedad MZC 74-275, lo cual se explica por el bajo contenido de potasio intercambiable de este suelo.

Cuadro 2. Efecto del potasio en la producción de caña y de azúcar recuperable estimada (ARE) de las variedades de caña de azúcar MZC 74-275, PR 61-632 y POJ 2878 en varios suelos del valle geográfico del río Cauca.

Subgrupo de suelo	K (cmol/kg)	Variedad	K (kg/ha)	Corte			Corte		
				1	2	3	1	2	3
				Caña (t/ha)			ARE (%)		
Vertic	0.10	MZC 74275	0	114	110	73	12.9	14.4	12.0
Tropaquept			83	111	108	72	13.5	13.3	11.9
Fluventic	0.30	MZC 74275	0	208	172	179	9.9	11.1	12.3
Haplustoll			83	204	175	185	9.9	10.6	12.4
Typic	0.74	MZC 74275	0	185	171	125	14.6	11.2	12.3
Pellustert			83	183	161	122	14.1	11.3	12.5
Vertic	0.19	PR 61632	0	174	133	98	10.8	12.4	13.1
Haplustalf			83	178	142	119	11.1	12.9	12.9
Vertic Tropic	0.34	PR 61632	0	197	87	138	10.3	11.0	13.4
Fluvaquent			83	213	97	148	10.5	11.9	13.7
Fluventic	0.38	PR 61632	0	265	209	235	10.7	9.0	10.5
Haplustoll			83	262	208	234	10.8	9.4	10.9
Typic	0.30	POJ 2878	0	212	120	166	13.8	13.5	14.4
Pelludert			83	217	124	184	14.0	13.2	14.6

En un suelo Vertic Ustropept del valle geográfico del río Cauca, al evaluar los efectos de las aplicaciones conjuntas de nitrógeno con fósforo y de nitrógeno con potasio en el rendimiento de la plantilla de la variedad MZC 74-275, se encontró que la disminución en el rendimiento de sacarosa, ocasionada por las dosis altas de nitrógeno, fue menor cuando este último se aplicó con potasio que con fósforo (Figura 3). Aunque la aplicación de potasio no aumentó la producción, sí fue importante para contrarrestar el efecto del nitrógeno en el retardo de la maduración de la planta, especialmente cuando se usaron dosis altas de este nutrimento. En estos ensayos, las dosis de P_2O_5 y K_2O variaron entre 0 y 110 kg/ha, con aumentos progresivos de 10 kg/ha para cada uno de ellos.

Con base en los hallazgos anteriores, se han establecido los siguientes niveles críticos tentativos para el contenido de potasio intercambiable en el suelo (extraído con acetato de amonio normal y neutro).

Categoría	K intercambiable (cmol/kg)
Baja	< 0.15
Mediana	0.15 - 0.30
Alta	> 0.30

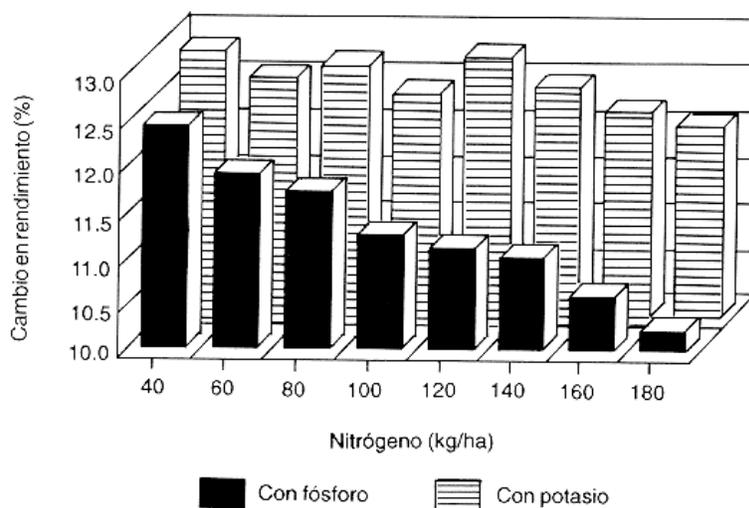


Figura 3. Cambios en el rendimiento de la plantilla de la variedad de caña MZC 74-275 debidos a la aplicación de nitrógeno en presencia de fósforo o potasio en un suelo Palmeras (*Vertic Ustropept*).

Se considera que la cantidad de K que es necesario aplicar por hectárea varía entre 0 y 83 de kg (1 kg de K = 1.2 kg de K_2O), dependiendo de la respuesta diferencial de las variedades en producción de caña y en rendimiento. Se sugiere, por ejemplo, aplicar dosis relativamente más altas en la variedad PR 61-632 que en otras variedades. En general, se considera que no es necesario aplicar potasio en suelos con altos contenidos de este nutrimento (> 0.30 cmol/Kg), pero cuando se aplican dosis altas de nitrógeno, es necesario tener presente el efecto de este nutrimento.

El cloruro de potasio (KCl) y el sulfato de potasio (K_2SO_4) son las fuentes comerciales de potasio más conocidas; sin embargo, la primera es de uso casi generalizado en los ingenios azucareros.

Este nutrimento se aplica en el fondo del surco inmediatamente antes de la siembra. En las socas se aplica 30 días después del corte, en bandas e incorporado al suelo conjuntamente con el nitrógeno. Debido al predominio de arcillas del tipo 2:1 en la mayoría de los suelos del valle geográfico del río Cauca, y su capacidad para retener potasio en la forma de ion (K^+), no se justifica aplicar este nutrimento en forma fraccionada.

Calcio

Las plantas absorben calcio de la solución del suelo en forma iónica (Ca^{2+}) y, en menor proporción, mediante el proceso de intercambio por contacto (Tisdale y

Nelson, 1966). El calcio es esencial para el crecimiento de los meristemos y, particularmente, para el desarrollo y funcionamiento adecuados de los ápices de las raíces. Se encuentra en la planta como pectato de calcio, el cual es un constituyente de la lámina media de la pared celular (Russell y Russell, 1968).

Deficiencia de calcio

Los síntomas de deficiencia de calcio en la caña de azúcar se manifiestan por la aparición, en las hojas más viejas, de manchas cloróticas pequeñas con la parte central necrosada que se tornan de color rojizo-oscuro. La intensidad de las manchas aumenta con la edad de las hojas y pueden unirse hasta formar áreas necróticas. Las hojas jóvenes deficientes en calcio se vuelven cloróticas y extremadamente débiles. La planta se debilita y su desarrollo se retarda; en consecuencia, los tallos presentan un diámetro reducido, son más delgados hacia el punto de crecimiento y su corteza es suave. Cuando la deficiencia de calcio es severa, el desarrollo de la planta se detiene y muere (Humbert, 1974; Martín et al., 1987; Silva y Casagrande, 1983).

Requerimientos de calcio

La absorción del calcio por la planta está estrechamente relacionada con el contenido en la fracción intercambiable y con la proporción en que se encuentre en el suelo en relación con otros cationes, especialmente con magnesio y potasio. En la zona azucarera de Colombia existen algunos suelos cultivados con caña de azúcar, en los cuales la relación Ca/Mg es amplia; también existen otros con relación Ca/Mg invertida, pero la mayoría presenta relaciones con valores cercanos a dos. En suelos que han recibido aplicaciones continuas de vinaza, es posible encontrar altos contenidos de potasio —hasta de 7 cmol/Kg— lo que conduce a una relación Ca/K muy estrecha que puede inducir deficiencias de calcio en la planta.

Los análisis foliares de plantillas y socas de 6 meses muestran poca variación en el contenido de calcio entre variedades. Generalmente, los contenidos de calcio en la lámina de la hoja correspondiente al primer cuello visible de arriba hacia abajo en la planta, varían entre 0.30% y 0.40%.

En Colombia, el Programa de Suelos del Instituto Colombiano Agropecuario estableció los niveles críticos en el suelo para los contenidos de calcio intercambiable (extracción con acetato de amonio normal y neutro) (ICA, 1981).

Categoría	Calcio intercambiable (cmol/kg)	Saturación (%)
Baja	< 3	< 30
Media	3 - 6	30 - 50
Alta	> 6	> 50

Aunque se considera que la aplicación de calcio como fertilizante en los suelos de la parte plana del valle geográfico del río Cauca no se justifica, es posible que en otras áreas, especialmente en aquellas localizadas en los suelos ácidos de la zona sur, sí se justifique su aplicación para neutralizar la presencia de aluminio intercambiable y aumentar el pH, o para elevar el contenido de calcio intercambiable en el suelo.

De acuerdo con lo anterior, cuando se va a encalar un suelo se sugiere tener en cuenta los criterios establecidos por el Programa de Suelos del ICA (ICA, 1981) y que aparecen a continuación:

1. Contenido de Al intercambiable > 2 cmol/kg.

2. Relación $\frac{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}}{\text{Al}} \leq 1$

3. Saturación del Al intercambiable $> 25\%$.

Una vez identificada la necesidad de aplicar cal, es necesario definir la dosis con base en el contenido de Al intercambiable del suelo. En suelos con pH inferior a 5.5 se deben aplicar 1.5 t/ha de cal agrícola por cada cmol de Al/kg de suelo. Este método puede dar lugar a altas cantidades de cal agrícola que resultan costosas; por lo tanto, a veces es más conveniente hacer aplicaciones periódicas de bajas cantidades de cal y evaluar los cambios que ocurren en el suelo.

Las fuentes más comunes de calcio son el carbonato; las cales agrícola, viva, apagada y dolomítica; las escorias Thomas y las rocas fosfóricas con alto contenido de carbonato de calcio. Cuando estas fuentes se utilizan como enmiendas, se aplican a voleo y se incorporan en el suelo un mes antes de la siembra. Si se quiere prevenir la deficiencia de calcio en la planta, se recomienda aplicar en el fondo del surco hasta 500 kg/ha de cal agrícola.

Magnesio

La disponibilidad de magnesio en el suelo, al igual que la de calcio, depende de la fracción intercambiable y de su balance en relación con este último nutrimento y con el potasio.

Deficiencia de magnesio

Los síntomas de la deficiencia de magnesio en la caña de azúcar son parecidos a los del calcio. En las hojas más viejas aparecen pequeñas manchas cloróticas que después se tornan café-oscuro. Estas manchas se extienden en forma uniforme sobre la superficie de la hoja y cuando se unen le dan una apariencia mohosa. Los tallos son delgados, sus entrenudos cortos y en el interior toman una coloración marrón. El desarrollo del sistema radical se restringe (Humbert, 1974; Silva y Casagrande, 1983).

Requerimientos de magnesio

El Programa Nacional de Suelos del ICA estableció los niveles críticos de magnesio en el suelo para la mayoría de cultivos con base en el contenido intercambiable y el porcentaje de saturación de este nutrimento (determinados por extracción con acetato de amonio normal y neutro).

Categoría	Magnesio intercambiable (cmol/kg)	Saturación (%)
Baja	< 1.5	< 15
Media	1.5 - 2.5	15 - 25
Alta	> 2.5	> 25

Por lo general, el contenido de magnesio en las láminas de las hojas que corresponden al primer cuello visible de las principales variedades de caña cultivadas en la zona, fluctúa entre 0.15% y 0.20%. Aunque la probabilidad de que ocurran deficiencias de magnesio en plantas de caña cultivadas en los suelos de esta región es bastante baja, la expansión del cultivo hacia áreas con suelos más ácidos podría, en un momento dado, justificar la aplicación de este nutrimento.

Las fuentes de magnesio más comunes son el sulfato de magnesio, el sulfato de magnesio y potasio (Sulfomag) y la cal dolomítica. Debido al alto costo relativo del sulfato de magnesio, su aplicación en la plantilla debe ser localizada en el fondo del surco, mientras que en las socas se debe aplicar en bandas e incorporado en el suelo.

Azufre

Las plantas absorben el azufre del suelo en la forma de $\text{SO}_4^{=}$ y en pequeñas cantidades a través de las hojas como dióxido de azufre (SO_2) (Tisdale y Nelson, 1966). Este elemento es un constituyente importante de los aminoácidos cisteína, cistina y metionina, además de otros compuestos de la planta.

Deficiencia de azufre

Este nutrimento influye en la formación de la clorofila, aunque no es un constituyente de ella. Las plantas deficientes en azufre presentan un color verdepálido a amarillo (Millar, 1964). Los síntomas de la deficiencia en la caña de azúcar aparecen, inicialmente, en las hojas jóvenes y al avanzar ésta se forman manchas cloróticas irregulares dispuestas paralelamente a las nervaduras. En estados avanzados de deficiencia, las hojas se tornan color púrpura, especialmente en sus márgenes, lo cual indica acumulación de carbohidratos y formación de antocianinas (Silva y Casagrande, 1983; Sturgess, 1985). Normalmente, las hojas más viejas permanecen verdes.

Requerimientos de azufre

Con frecuencia, el azufre se aplica en el suelo cuando se suplen las necesidades de otros nutrimentos, como ocurre cuando se aplican sulfato de amonio como fuente de nitrógeno, superfosfato simple como fuente de fósforo, o sulfato de potasio como fuente de este último elemento.

Los resultados de varios ensayos realizados en Mollisoles, Inceptisoles y Vertisoles del valle geográfico del río Cauca con las variedades CP 72-356 y MZC 74-275, permiten concluir que el contenido de azufre en la lámina foliar disminuye a medida que aumenta el número de cortes. En la lámina foliar de las plantillas, el contenido de azufre fue de 0.15%, mientras que en las hojas de las socas varió entre 0.08% y 0.10%.

La relación nitrógeno/azufre en las hojas difiere entre variedades. Por ejemplo, en la plantilla de la variedad CP 72-356 esta relación fue de 11 a 1, mientras que en las socas varió entre 15 a 1 y 16 a 1, valores éstos muy cercanos a la relación considerada adecuada para la síntesis de las proteínas (15 a 1) y que indican la escasa probabilidad que existe, en este caso, de alcanzar respuesta con la aplicación de azufre. De la misma manera, en las hojas de la plantilla de la variedad MZC 74-275, la relación nitrógeno/azufre fue, aproximadamente, de 14 a 1 y varió poco con la edad del cultivo.

La variedad CP 72-356 cultivada en un Vertisol alcalino, y la variedad MZC 74-275 cultivada en Mollisoles de mediana acidez y en Inceptisoles alcalinos, no respondieron a las aplicaciones de azufre en el suelo. Sin embargo, este nutrimento aumentó ligeramente la concentración de sacarosa en los jugos de la planta en tres cosechas consecutivas. Los suelos contenían más de 13 mg/kg de azufre intercambiable, extraído con fosfato monocalcico 0.008 Molar.

Debido al reducido número de suelos evaluados, aún no es posible definir categorías con base en niveles críticos para este nutrimento, pero se puede decir, de manera tentativa, que en las condiciones predominantes en los suelos dedicados a la producción de caña de azúcar en la parte plana del valle geográfico del río Cauca, no se recomienda aplicar azufre como fertilizante, cuando se presenten contenidos superiores a 13 mg/kg de este elemento en forma intercambiable, extraído con $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$.

Las fuentes de azufre más comunes son azufre elemental, sulfato de amonio, sulfato de potasio, superfosfato simple y sulfato de calcio y magnesio (yeso). Este último, al igual que el S elemental, se utilizan como enmienda para desplazar el sodio intercambiable en suelos sódicos, mientras que los dos primeros son las fuentes más usadas como fertilizante.

Las pocas evaluaciones realizadas en cultivos de caña en el valle geográfico del río Cauca, mostraron comportamientos similares cuando se compararon la urea + S elemental, el sulfato de amonio solo y la mezcla de este último con urea. Las aplicaciones de S elemental se hicieron en el fondo del surco en plantilla; el sulfato de amonio y las mezclas se aplicaron en banda e incorporadas al suelo, 30 días después del corte.

Micronutrientos

Las plantas requieren una serie de elementos menores —micronutrientos— en cantidades relativamente pequeñas; esto no indica que sean menos importantes que los macronutrientos, ya que son necesarios en procesos enzimáticos, de oxidación-reducción, formación de clorofila y transporte de carbohidratos, entre otros.

Las plantas absorben los micronutrientos cobre, hierro, manganeso y cinc en forma catiónica y como sales orgánicas complejas (quelatos); el cloro lo absorben en forma aniónica, el molibdeno como molibdato (MoO_4^-) y el boro como boratos (B_4O_7^- , H_2BO_3^- , HBO_2^- ó BO_3^{3-}).

En el Cuadro 3 se pueden observar las principales funciones de los micronutrientos en la planta.

Las deficiencias de micronutrientos se presentan, por lo general, como resultado de su bajo contenido en el suelo o inducidas por condiciones adversas como la acidez o la alcalinidad, el contenido bajo de M.O., el déficit de agua, el exceso de humedad y el desbalance nutricional debido al manejo inadecuado de los fertilizantes y las enmiendas.

Cuadro 3. **Principales funciones de los micronutrientos en las actividades fisiológicas de la planta.**

Micronutriente	Actividad fisiológica de la planta
Boro	Transporte de azúcar a través de las membranas celulares, mitótica.
Cloro	Fotosíntesis.
Cobre	Fotosíntesis, resistencia a plagas y enfermedades, actividad de las enzimas.
Hierro	Actividad de las enzimas, transporte de electrones, metabolismo de ácidos nucleicos, síntesis de clorofila y fotosíntesis.
Manganeso	Actividad enzimática y fotosíntesis.
Molibdeno	Asimilación de nitrógeno.
Cinc	Metabolismo de auxinas, uso del agua, actividad enzimática y crecimiento celular.

FUENTE: Kanwar y Youngdahl, 1985; López, 1992; Malavolta, 1992; Price et al., 1972.

Boro

La deficiencia de boro en la planta se manifiesta por el escaso desarrollo apical, debido a su inmovilidad dentro de la planta. Los entrenudos se tornan cortos; las hojas detienen su desarrollo, se deforman y aparecen dispuestas en racimos, como si emergieran de un mismo punto; las láminas foliares presentan parches cloróticos intervenales que se convierten en manchas necróticas al aumentar la edad del cultivo. También pueden aparecer estrías cloróticas

intervenales que se necrosan y al desprenderse el tejido aparece rasgado con hendiduras alargadas en forma de escalera. Otro síntoma característico de la deficiencia de boro en la planta es la presencia de hojas en forma de cartucho: entrelazadas, retorcidas y cloróticas (Agarwala et al., 1985; Sobral y Weber, 1983).

Se considera que un contenido de boro en el suelo entre 0.4 y 0.6 mg/kg, extraído con agua caliente (Malavolta, 1992) o con $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 0.008 M, es adecuado para el cultivo de la caña de azúcar. Los resultados de los análisis, correspondientes a suelos de las 15 series más importantes del valle geográfico del río Cauca, indican que la probabilidad de respuesta de la caña de azúcar a la aplicación de este nutrimento es relativamente alta. Sin embargo, los experimentos en invernadero y en el campo con Mollisoles, Inceptisoles y Vertisoles no han mostrado efectos significativos del boro en la producción de la variedad MZC 74-275 que justifiquen su aplicación en el suelo.

Las fuentes más comunes de boro son: el bórax, el pentaborato de sodio, los tetraboratos hidratados de sodio y los vidrios de boro finamente molidos. Para las aplicaciones foliares se pueden utilizar el Solubor y el ácido bórico. En las investigaciones de campo, el bórax ha sido la única fuente utilizada, aplicada en el fondo del surco al momento de la siembra.

Cloro

La deficiencia de cloro en la planta es difícil de identificar, ya que la cantidad que requiere es muy baja y, en la mayoría de los casos, es suministrada por el agua durante las lluvias (Russell y Russell, 1968). Por lo tanto, para estudiar los síntomas de deficiencia de este nutrimento en la caña de azúcar, caracterizados por la presencia de hojas alargadas y una clorosis moderada en las hojas nuevas, es necesario inducirlos en invernadero (Sobral y Weber, 1983).

Cobre

Las deficiencias de cobre son frecuentes en suelos que han recibido altas aplicaciones de abonos orgánicos. Estas deficiencias se manifiestan por una aparente marchitez de las hojas, debido al debilitamiento de las paredes celulares, que no debe relacionarse con el estrés por falta de agua (Kanwar y Youngdahl, 1985). En la caña de azúcar, la deficiencia de cobre se presenta como una clorosis general de las hojas nuevas, cuyas puntas se tornan de una coloración blanquecina. En algunos casos, aparece una constricción en las hojas nuevas que las colapsa; el macollamiento tiende a aumentar, pero las hojas que emergen de estas macollas tienen las puntas dobladas (Agarwala et al., 1985).

El nivel crítico tentativo de cobre en el suelo para la mayoría de los cultivos varía entre 1 y 3 mg/kg (extraído con NaHCO_3 0.5 N + EDTA 0.05 M, método de Hunter) y entre 1 y 1.4 mg/kg cuando se usa el método de Mehlich (HCl 0.05 N + H_2SO_4 0.025 N) (Lora S., 1992; Malavolta, 1992).

En los suelos del valle geográfico del río Cauca, los contenidos de cobre en las hojas de la caña tienden a disminuir con la edad del cultivo. A la edad de 6 meses,

este nutrimento en las hojas de la variedad MZC 74-275 fluctuó entre 7 y 8 mg/kg. La aplicación de cobre en dosis variables en el fondo del surco al momento de la siembra aumentó la producción de caña en tres de cuatro experimentos.

Las fuentes de este micronutrimento son el sulfato de cobre, el óxido de cobre y los quelatos. En las investigaciones realizadas en los ingenios azucareros se utiliza el sulfato de cobre pentahidratado. Cuando se presentan deficiencias de cobre en caña de azúcar, se sugiere aplicar entre 2.5 y 7.5 kg/ha de este nutrimento.

Hierro

La deficiencia de hierro es frecuente en suelos calcáreos (Murphy y Walsh, 1972) y se manifiesta en las hojas jóvenes como rayas cloróticas que alternan con el color verde de las nervaduras. Cuando la deficiencia se acentúa, las hojas más jóvenes toman una coloración blanquecina, mientras que las hojas inferiores presentan una coloración verde-amarillenta. Generalmente, la clorosis por deficiencia de hierro se presenta en parches irregulares en plantaciones de 3 a 4 meses de edad.

Se considera, tentativamente, que para el normal desarrollo de la caña de azúcar se necesitan entre 40 y 80 mg/kg (método de Mehlich) o entre 10 y 20 mg/kg (método de Hunter) de hierro en el suelo (Malavolta, 1992; Lora S., 1992). En Mollisoles, Vertisoles e Inceptisoles se encontró que el contenido de hierro en las láminas foliares del primer cuello visible de la variedad MZC 74-275 de 6 meses de edad, varió entre 100 y 110 mg/kg, siendo menor este contenido al avanzar la edad de la planta.

En los suelos antes mencionados, el contenido de hierro varió entre 13 y 45 mg/kg (método de Hunter) y la respuesta a la aplicación de este nutrimento fue baja. Sólo en el Inceptisol (Vertic Tropaquept) se encontró un ligero incremento en la producción de caña como resultado de la aplicación de hierro en el suelo. Debido a las producciones aceptables obtenidas en el primer corte o plantilla, se estima que esta concentración de hierro en las hojas es adecuada para esta variedad.

Las fuentes más utilizadas de este nutrimento son los sulfatos, los quelatos y el óxido de hierro, los cuales se aplican en el surco inmediatamente antes de plantar el material. Cuando el hierro disponible en el suelo es bajo—especialmente cuando el pH es muy alto— se pueden aplicar quelatos en forma foliar para evitar su deficiencia en la planta.

Manganeso

La disponibilidad de este micronutrimento disminuye con las aplicaciones de abonos orgánicos en el suelo, aunque no forma compuestos definidos con la M.O. (Krauskopf, 1972). Los síntomas de deficiencia de manganeso en la planta se presentan como bandas oscuras a lo largo de las nervaduras, que se alternan con bandas verde-amarillentas; estos síntomas se distinguen de los ocasionados por la

deficiencia de hierro porque estas últimas bandas aparecen en la parte media de las hojas jóvenes y se prolongan hacia el ápice. En casos muy severos de deficiencia de manganeso, las áreas verde-amarillentas se tornan grises o blancuzcas (López, 1978; Martín et al., 1987; Labanauskas, 1966).

En forma preliminar, se estima que entre 5 y 10 mg/kg (método de Hunter) o entre 20 y 40 mg/kg (método de Mehlich) de manganeso en el suelo, son suficientes para el normal desarrollo y producción de la caña de azúcar (Malavolta, 1992).

En el valle geográfico del río Cauca, la variedad MZC 74-275 presenta en plantilla entre 30 y 40 mg/kg de manganeso foliar a la edad de 6 meses; y una concentración similar a los 3 meses de edad. Debido a que los contenidos de manganeso en cuatro suelos variaron entre 6 y 24 mg/kg (método de Hunter) no se esperaban respuestas a la aplicación de este nutrimento; sin embargo, en dos suelos se encontró un incremento entre 9% y 20% en la producción de caña con la aplicación de 2.5 kg/ha de manganeso.

Las fuentes más comunes de manganeso son el sulfato, el óxido, el carbonato y los quelatos. En los experimentos efectuados en el valle geográfico del río Cauca, se utilizó sulfato de manganeso aplicado en el fondo del surco al momento de la siembra.

Molibdeno

La disponibilidad de este micronutriente, a diferencia de lo que ocurre con los demás, es mayor cuando el pH en el suelo es superior a 6 (Tisdale y Nelson, 1966). Según varios autores, citados por Sobral y Weber (1983), la deficiencia de molibdeno en caña de azúcar se presenta como un blanqueado y chamusquina de los márgenes de las hojas medias, especialmente en la parte terminal; posteriormente, estas hojas se marchitan y se doblan (Agarwala et al., 1985). Inicialmente, la deficiencia se manifiesta en las hojas más viejas en forma de pequeñas estrías cloróticas. En estado más avanzado, el tejido central de las estrías toma una coloración violácea y se necrosa.

Para corregir las deficiencias de este nutriente, generalmente las aplicaciones se hacen al follaje o directamente en el material de siembra. El contenido de molibdeno en el suelo inferior a 0.25 mg/kg, extraído con agua caliente, se considerada como bajo (Lora S., 1992).

Los compuestos más utilizados como fuentes de molibdeno son el molibdato de sodio y el molibdato de amonio.

Cinc

La deficiencia de cinc en la caña de azúcar se caracteriza por la presencia de entrenudos cortos, reducción de la lámina foliar en la base de las hojas y formación de macollas cortas y débiles. Las hojas de la parte media muestran rayas cloróticas o necróticas (Agarwala et al., 1985). Los síntomas iniciales aparecen en las hojas

jóvenes, sus nervaduras se vuelven cloróticas y presentan estrías no simétricas, pero el tejido intervenal permanece verde; estos síntomas son más notorios en el extremo de las hojas. Cuando la deficiencia es severa, el limbo de la hoja (el haz y el envés) se torna clorótico, con excepción de dos fajas situadas a cada lado de la nervadura principal (Sobral y Weber, 1983).

Se consideran que para la caña los niveles adecuados de cinc en el suelo son de 1 mg/kg (Mehlich) y de 1.5 a 4 mg/kg (Hunter) (Malavolta, 1992; Lora S., 1992).

Entre 3 y 6 meses de edad, los cambios en el contenido de cinc en las hojas son bajos. Por ejemplo, en las láminas correspondientes al primer cuello visible de la variedad MZC 74-275, el contenido de este elemento varió entre 11 y 14 mg/kg, cuando se cultivó en Mollisoles, Inceptisoles y Vertisoles.

En varios sitios del valle geográfico del río Cauca se han encontrado incrementos hasta de 19% en la producción de caña, cuando se aplicaron entre 2.5 y 7.5 kg/ha de este elemento en forma de sulfato. Si se tiene en cuenta que el contenido de cinc en estos suelos, extraído por el método de Hunter, varía entre 1 y 4 mg/kg, este aumento en producción por la adición de sulfato de cinc, se encuentra dentro de los valores esperados. En los experimentos realizados en CENICAÑA, el cinc se ha aplicado en el fondo del surco en forma de sulfato.

Las fuentes más comunes de este nutrimento son los sulfatos, el óxido, el carbonato y los quelatos de cinc.

Subproductos de la Caña como Fuentes de Nutrimentos

Cachaza

La cachaza está formada por los residuos que se obtienen en el proceso de clarificación del jugo de la caña durante la elaboración del azúcar crudo. Es un material oscuro, constituido por la mezcla de fibra, coloides coagulados, cera, sustancias albuminoides, fosfatos de calcio y partículas de suelo (Samuels, 1979).

La producción de cachaza es, en promedio, de 30 kg por cada tonelada de caña que se muele (Orlando Filho, 1991). Generalmente, se aplica en suelos próximos a las fábricas de los ingenios, ya que su alto contenido de humedad aumenta el costo del transporte.

Entre los componentes de la cachaza fresca sobresalen la M.O., el calcio, el fósforo y el nitrógeno. Después de 13 semanas de descomposición de este subproducto, disminuyen la humedad, la M.O. y los nutrimentos antes mencionados, y aumentan el hierro, el cobre y la actividad microbiana (Cuadro 4).

En el comercio existen productos a base de microorganismos que se utilizan para acelerar los procesos de descomposición de los residuos orgánicos. En CENICAÑA se evaluó el iniciador bacteriano Fabearth 110/120, y se encontró,

Cuadro 4. Principales características de los abonos orgánicos que se usan en la experimentación realizada por CENICAÑA.

Parámetros	Cachaza fresca ^a	Cachaza descompuesta		Cenichaza descompuesta
		Inoculada	Sin inocular	
Humedad (%)	68.0	56.0	56.0	53.0
pH	6.1	7.1	7.3	8.4
C/N	22.0	16.0	22.0	18.0
M.O. (%)	42.0	23.0	33.0	16.0
N (%)	1.16	0.82	0.87	0.54
P (%)	1.25	0.62	0.60	0.37
Ca (%)	3.33	3.00	2.52	1.40
Mg (%)	0.51	0.74	0.69	0.40
K (%)	0.54	0.62	0.59	0.85
Fe (mg/kg)	8691	20570	22280	12090
Mn (mg/kg)	162	134	139	142
Cu (mg/kg)	56	73	77	55
Bacterias ^b	2 x 10 ⁷	1.6 x 10 ¹²	> 5.4 x 10 ¹²	5.4 x 10 ¹²

a. Promedio de cachazas provenientes de tres ingenios.

b. Método bacteriológico = número más probable (N.M.P.)

después de 13 semanas de descomposición, que las características de la cachaza inoculada fueron similares a la cachaza sin inocular, aunque se observaron algunos cambios en la relación C/N y en el contenido de M.O., que indican que el inóculo aceleró los procesos de descomposición.

En Inceptisoles, Mollisoles y Vertisoles, la cachaza fresca aplicada a voleo e incorporada en los primeros 20 cm de profundidad, aumentó la producción de la variedad CP 57-603; en la plantilla y en el primer corte no se justificaron las aplicaciones superiores a las 100 t/ha de cachaza fresca. No obstante, los mayores efectos residuales en el segundo y tercer cortes se obtuvieron con 300 t/ha de cachaza.

En los ensayos anteriores se encontró, además, que la cachaza afectó algunas propiedades químicas de los suelos. Así, aumentaron ligeramente el pH y los contenidos de M.O. y de potasio intercambiable, pero el efecto más importante ocurrió con el fósforo disponible, ya que un mes después de la aplicación los contenidos de este nutrimento en algunos suelos, que inicialmente eran bajos, alcanzaron valores muy altos, los cuales fue posible mantener después de tres cortes consecutivos con aplicaciones de 200 t/ha de cachaza. Debido a lo anterior, este subproducto se considera como un buen sustituto de fertilizantes fosforados para algunos suelos del valle geográfico del río Cauca.

En Inceptisoles y Entisoles de baja fertilidad del piedemonte del valle geográfico del río Cauca, con la aplicación de 100 t/ha de cachaza fresca en los surcos al momento de plantar la variedad MZC 74-275, se encontró en uno de estos suelos —Typic Humitropept— con 5% de M.O., que la concentración de sacarosa en la plantilla disminuyó, debido posiblemente a un suministro tardío de nitrógeno, lo cual es una característica de este subproducto. Sin embargo, las producciones de caña y de azúcar de esta variedad mostraron que con la aplicación de 3 t/ha de cachaza descompuesta e inoculada, es posible sustituir entre el 25% y el 50% del nitrógeno, el fósforo y el potasio, que normalmente se aplican en la plantilla y en la primera soca.

Las aplicaciones de cachaza descompuesta en dosis relativamente bajas han sido más efectivas en plantilla que en socas, posiblemente porque en la primera se coloca en el fondo del surco, mientras que en las socas se aplica en banda. De todas maneras, es importante tener en cuenta que la cachaza descompuesta es un complemento de los fertilizantes comúnmente utilizados en el cultivo de la caña de azúcar.

Cenichaza

La “cenichaza” es el producto de la mezcla de la cachaza con las cenizas del bagazo usado como combustible en las calderas de los ingenios. Cuando estos subproductos se mezclan en una proporción de 1:1 (peso húmedo) y se dejan descomponer durante 13 semanas, se obtiene un abono alcalino con relación C/N adecuada, pero con menor contenido de M.O., nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, y mayor contenido de potasio que la cachaza descompuesta (Cuadro 4).

En Inceptisoles y Entisoles, la aplicación de 10 t/ha de cenichaza en el fondo del surco, no aumentó en forma significativa la disponibilidad de nitrógeno para la variedad MZC 74-275. Pero, fue más eficiente que el superfosfato triple en el suministro de fósforo y que la cachaza descompuesta en el suministro de potasio. En un Entisol con drenaje pobre, con bajo contenido de fósforo disponible y altos contenidos de M.O. y potasio intercambiable, se encontró que con la aplicación de 10 t/ha de cenichaza en el fondo del surco, más el 75% de las dosis de nitrógeno, fósforo y potasio que normalmente se aplican en plantilla y del nitrógeno que se aplica en las socas, es posible obtener producciones relativamente altas de caña y de azúcar.

Vinaza

La vinaza es un residuo de las destilerías de alcohol que se produce en una proporción de 13 litros por cada litro de alcohol obtenido, proporción que puede variar entre 10 y 15 litros de vinaza por litro de alcohol (Ferreira y Monteiro, 1987). Este subproducto es alto en el contenido de M.O., potasio, azufre y calcio (Rodella y Ferrari, 1977; Penatti et al., 1988; Zambello y Orlando Filho, 1981).

La vinaza se puede aplicar en el cultivo de la caña de azúcar por gravedad o aspersión sobre los surcos. El uso de carrotanques es costoso y generalmente se emplean para aplicar vinazas concentradas en dosis que varían entre 35 y

50 m³/ha. Cuando las aplicaciones se hacen por canales, dirigidas a los surcos (“fertirrigación”), las dosis son superiores a 1000 m³/ha (Leme et al., 1980). Por aspersión se aplican entre 200 y 500 m³/ha, según la cantidad de potasio que se desee aplicar en el suelo.

El contenido de potasio intercambiable en el suelo es el criterio que se emplea para determinar la dosis de vinaza que se debe aplicar en las plantaciones, ya que ésta es una fuente importante de este nutrimento. Sin embargo, las aplicaciones de vinaza se deben hacer con ciertas precauciones, ya que las aplicaciones sucesivas en suelos Entic Chromustert de la zona central del valle geográfico del río Cauca han resultado en aumentos excesivos de potasio intercambiable y en disminuciones de la producción de caña y de la concentración de sacarosa en la primera soca de la variedad MZC 74-275.

Referencias

- Agarwala, S. C.; Chatterjee, C.; Nautiyal, B. D.; Dube, B. K.; y Nautiyal, N. 1985. Induction of deficiency of zinc, copper and molybdenum in sugarcane. Effect on growth, sugar concentration and some enzyme activities. *Sugar Cane (U.K.)* no. 6. p. 1-7.
- Blackburn, F. 1984. *Sugar-cane*. Longman, Nueva York. 414 p.
- De Geus, J. G. 1967. *Fertilizer guide for tropical and subtropical farming*. Centre d' Etude de l' Azote, Zurich. 727 p.
- Fauconnier, R. y Bassereau, D. 1975. *La caña de azúcar*. Blume, Barcelona. 433 p.
- Ferreira S., E. y Monteiro, O. A. 1987. Efeitos da aplicação da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. *Boletín técnico COPERSUCAR* no. 36. p. 1-7.
- Humbert, R. P. 1974. *El cultivo de la caña de azúcar*. Continental, México. 719 p.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 1981. *Fertilización de diversos cultivos*. Cuarta aproximación. Programa Nacional de Suelos. Bogotá, Colombia. 56 p.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1980. *Estudio semidetallado de suelos del valle geográfico del río Cauca*. Bogotá. 582 p.
- Kanwar, J. S. y Youngdahl, L. J. 1985. Micronutrient needs of tropical food crops. *Fert. Res.* 7(43-67).
- Krauskopf, K. B. 1972. Biochemistry of micronutrients. *Micronutrients in agriculture*. Proceedings of a symposium held at Muscle, Alabama, April 20-22, 1971. Soil Science Society of America. p. 7-40.
- Labanauskas, C. K. 1966. Manganese. En: Chapman, H. D. (ed.). *Diagnostic criteria for plants and soils*. University of California Division of Agricultural Science, Riverside, E.U. p. 264-285.

- Leme, E. J.; Scardua, R.; y Moretti, F. J. 1980. Aplicação da vinhaça a través do sistema de irrigação por sulcos de infiltração em cana-de açúcar. *Brasil Açucareiro* 96(4):47-59.
- López, F. Y. 1992. Funciones e interacciones de los elementos menores en plantas y suelos. En: *Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS), Palmira. Comité Regional del Valle del Cauca. p. 1-22.
- López, G. 1978. Funciones de algunos micronutrientes en las plantas. En: *Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS). Potasio y micronutrientes en la agricultura colombiana. Memorias del Quinto Coloquio de Suelos*. Suelos Ecuat. 9(2):141-148.
- Lora S., R. 1992. Análisis de suelos y material vegetal para micronutrientes. En: *Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS), Palmira. Comité Regional del Valle del Cauca. p. 81-97.
- Malavolta, E. 1992. Micronutrientes en la fertilización de la caña de azúcar. En: *Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS), Palmira. Comité Regional del Valle del Cauca. p. 294-322.
- Martín, O., J.; Gálvez R., G.; Armas U., R. de; Espinosa O., R.; Vigoa H., R; y León M., A. 1987. *La caña de azúcar en Cuba*. La Habana, Cuba. *Revista Científico Técnica*. 669 p.
- Millar, C. E. 1964. *Fertilidad del suelo*. Salvat, Barcelona. 477 p.
- _____; Turk, L. M.; y Foth, H. D. 1978. *Fundamentos de la ciencia del suelo*. Continental, México. 527 p.
- Murphy, L. S. y Walsh, L. M. 1972. Correction of micronutrient deficiencies with fertilizers. *Micronutrients in agriculture. Proceedings of a symposium held at Muscle, Alabama, April 20-22, 1971*. Soil Science Society of America. p. 347-381.
- Orlando Filho, J. 1991. Manejo de suelos y uso de fertilizantes para la caña de azúcar en Brasil. *Geplacsa (México)* 8(3):6.
- Penatti, C. P.; Cambria, S.; Boni, P. S.; Arruda, F. C.; y Manoel, L. A. 1988. Efeitos da aplicação da vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana de açúcar. *Boletim técnico Copersucar* no. 48. p. 32-38.
- Price, C. A.; Clark, H. E.; y Funkhouser, E. A. 1972. Functions of micronutrients in plants. *Micronutrients in agriculture. Proceedings of a symposium held at Muscle, Alabama, April 20-22, 1971*. Soil Science Society of America. p. 231-242.
- Rodella, A. A. y Ferrari, S. E. 1977. Composição da vinhaça e efeitos de sua aplicação como fertilizante na cana de açúcar. *Brasil Açucareiro* 90(1):6-13.
- Russell, E. J. y Russell, E. W. 1968. *Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas*. Aguilar, Madrid. 801 p.

Fertilización y Nutrición

- Samuels, G. 1979. The use of residues from sugar cane factory and distillery for fertilizers. 15 p. (Manuscrito).
- Silva, L. C. da y Casagrande, J. C. 1983. Nutrição mineral da cana de açúcar (Macronutrientes). En: Nutrição e adubação da cana de açúcar no Brasil. Planalsucar, Piracicaba. p. 77-102.
- Sobral, A. F. y Weber, H. 1983. Nutrição mineral da cana de açúcar (Micronutrientes). En: Nutrição e adubação da cana de açúcar no Brasil. Planalsucar, Piracicaba. p. 103-122.
- Sturgess, O. W. 1985. Crop nutrition review confirms BSES policy on fertilizer recommendations. BSES Bulletin (Australia) 10:1-23.
- Tisdale, S. L. y Nelson, W. L. 1966. Soil fertility and fertilizers. MacMillan, Nueva York. 694 p.
- Wardle, G. J. 1968. Quantitative use of phosphate fertilizers for sugarcane and factors affecting their efficiency. South African Sugar Journal 52:1-3.
- Yang, S. J. y Torres, J. S. 1984. Estudio preliminar sobre los requerimientos de agua y riego de la caña de azúcar en el Valle del Cauca. En: Memorias del Primer Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Cali, Colombia. p. 323-335.
- Zambello, E. Jr. y Orlando Filho, J. 1981. Adubação de cana de açúcar na região centro-sul do Brasil. Boletím técnico Planalsucar 3(3):5-26.

Labores de Cultivo

Víctor J. Porras Gutiérrez*

Las labores mecánicas de cultivo en las socas o renuevos de la caña de azúcar tienen por objeto disminuir los efectos de la compactación del suelo, ocasionada por la maquinaria durante la cosecha. La compactación afecta el suelo hasta una profundidad entre 25 y 30 cm y es más severa durante las épocas de lluvia.

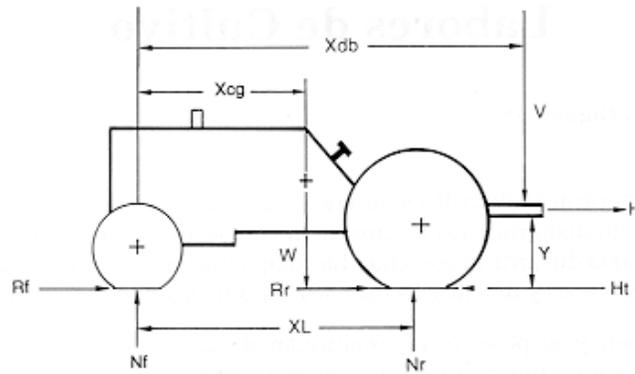
El volumen y el peso de la producción de caña se transportan en forma continua durante el año, tanto en las épocas secas como lluviosas. Esta labor requiere de equipos pesados y de gran potencia que se movilizan dentro de los campos del cultivo, sin considerar, muchas veces, el daño que pueden ocasionar en los suelos.

Compactación del Suelo por Equipos de Transporte

Las llantas traseras de los tractores son el principal punto de compactación del suelo. En este punto confluyen el peso del tractor y el componente vertical de la fuerza de tiro de los vagones (Figura 1). En los estudios realizados por CENICAÑA (1984) y por Torres et al. (1990), con sistemas de cosecha semimecanizada y patrones de tráfico como los que aparecen en la Figura 2, se encontró que el tractor con vagones cargados de caña causó la mayor compactación en el suelo, mientras que la alzadora con llantas de flotación ocasionó una menor compactación, medida como densidad aparente (D.A.) hasta 60 cm de profundidad en el suelo. En estos estudios se encontró que la compactación por el tractor con vagón fue mayor hasta 30 cm cuando el tráfico fue menor de dos pases del equipo, pero cuando fue entre dos y cuatro pases, la compactación llegó hasta 40 cm de profundidad (Figura 3). También se encontró que el efecto de la alzadora fue severo en los primeros 20 cm de profundidad. No obstante, Fonseca et al. (1982) consideran que el mayor incremento en la D.A. del suelo ocurre entre 10 y 15 cm con el primer pase del tractor y que los demás pases no ocasionan aumentos significativos.

La compactación del suelo restringe el desarrollo de las raíces, reduce la infiltración de agua y su almacenamiento en el perfil del suelo y, de esta forma, limita el rendimiento de los cultivos. Bowen y Kratky (1985) encontraron en el cultivo de maíz que la compactación reduce en 40%, 30%, 20% y 10% la absorción de potasio, nitrógeno, magnesio y calcio, respectivamente; la magnitud de esta reducción depende del tipo de suelo y del grado de compactación. La absorción de nutrimentos por las plantas depende, a su vez, de la disponibilidad de oxígeno en

* Víctor J. Porras es Ingeniero Agrónomo, Director de la División Campo del Ingenio La Cabaña Ltda. Ave. 8a. norte No. 22-48, Cali, Colombia.



Descripción de fuerzas

- Nr = Fuerza de reacción del suelo debido a la carga de las llantas traseras
- Nf = Fuerza de reacción del suelo debido a la carga de las llantas delanteras
- Rf, Rr = Fuerzas de resistencia al rodamiento debidas al suelo y a la deformación de las llantas
- W = Peso de la máquina sin incluir el peso del implemento de trabajo
- Ht = Fuerzas de tracción de las llantas sobre el suelo
- H = Fuerza de trabajo necesaria para mover el implemento de trabajo
- V = Fuerza vertical transferida por el implemento al tractor
- XL = Distancia entre llantas delanteras y traseras
- Xcg = Distancia entre el centro de gravedad y el eje delantero
- Xdb = Distancia entre el eje delantero y el punto de acople del implemento
- Y = Altura efectiva del punto de acople del implemento

Figura 1. Diagrama de las fuerzas que actúan sobre las llantas delanteras y traseras de un tractor.

la rizosfera, el cual es escaso en suelos compactados por tener un menor volumen de poros; en consecuencia, la aplicación de fertilizantes no corrige la deficiencia de nutrimentos en estos suelos.

El intercambio de gases entre la atmósfera y el suelo ocurre por flujo de masas y diferencias de presión hacia los poros del suelo y desde éstos. La aireación óptima en el suelo depende de la cantidad de poros grandes que facilitan el drenaje después de las lluvias o del riego. La compactación reduce el tamaño de los poros y, por lo tanto, disminuye el intercambio de gases en la rizosfera y crea condiciones anaeróbicas en la zona de raíces.

Por lo menos 85% del sistema radicular de la planta de caña de azúcar se concentra en los primeros 60 cm del suelo. La penetración de las raíces hacia el subsuelo ocurre durante los períodos secos, mientras que en los períodos de humedad excesiva las raíces más profundas mueren y la planta desarrolla, generalmente, un sistema de raíces laterales mayor. De acuerdo con Evans, citado por Humbert (1965), la mayoría de las raíces fibrosas, que son las más

Labores de Cultivo

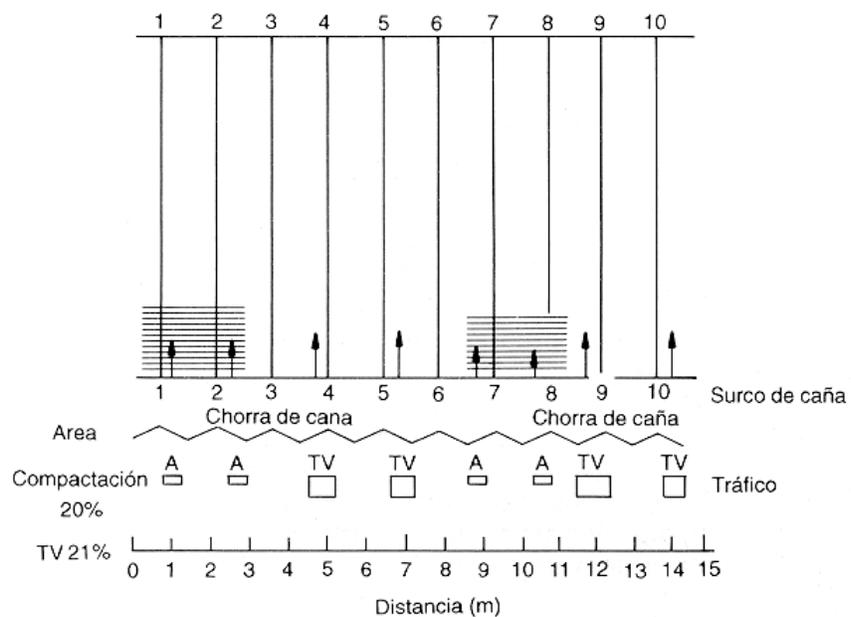


Figura 2. Patrones de tráfico de la alzadora (A) y del tractor más el vagón (TV) durante la cosecha de caña de azúcar.

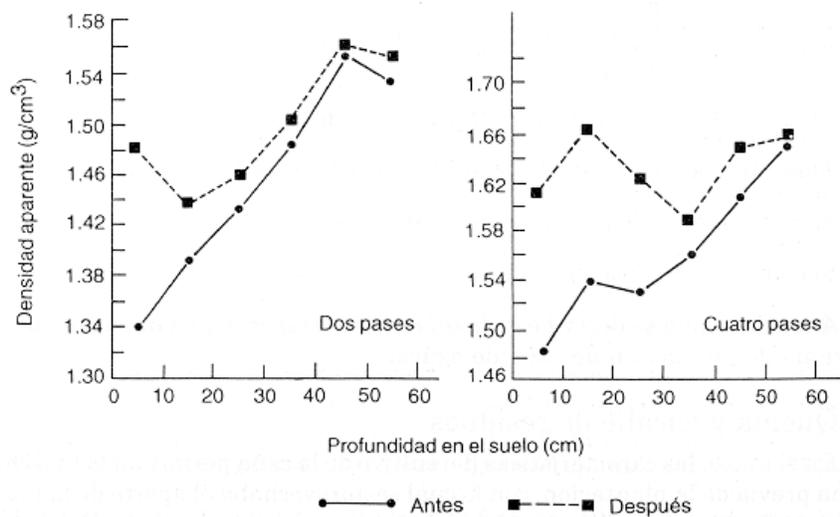


Figura 3. Efecto del tránsito de tractores y vagones en la densidad aparente del suelo.

activas en la absorción de nutrimentos y agua, se encuentran en la variedad de caña POJ 28-78 en los primeros 30 cm del suelo.

El sistema radicular de los retoños es menos desarrollado que el de los cultivos en plantilla. Evans (citado por Humbert, 1965) encontró que las raíces de las plantas y de las socas permanecen activas durante un período considerable de tiempo después del corte y que el sistema radicular deja de funcionar en forma progresiva, al mismo tiempo que los puntos en crecimiento forman un nuevo sistema radicular.

Con el objeto de reducir la compactación en el suelo se han incorporado cambios importantes en el diseño de los equipos agrícolas modernos, pero algunos de estos cambios pueden aumentar el problema de una forma indirecta. Por ejemplo, las llantas dobles y de alta flotación, los ejes tándem y la tracción en las cuatro ruedas distribuyen el peso en una superficie mayor y, por lo tanto, causan una menor compactación, condiciones éstas que permiten el trabajo de los equipos en suelos húmedos, lo que puede agravar aún más el problema. En consecuencia, estos equipos deben emplearse con el mismo sentido de conservación del suelo que se tenía con los modelos previos.

Prácticas Culturales en las Socas

Las labores de cultivo en las socas tienen como finalidad acondicionar los campos después de soportar el tráfico intenso de la maquinaria agrícola utilizada en la cosecha. La secuencia cronológica de estas labores comprende:

1. Quema y encalle de residuos. Se hace entre 2 y 3 días después de la cosecha.
2. Subsulado. Según las condiciones de humedad en el suelo se realiza 10 días después del corte.
3. Cultivo. Se lleva a cabo inmediatamente después del subsulado.
4. Aporque. Se hace inmediatamente después de la labor anterior.
5. Mantenimiento de acequias. Se realiza después de la cultivada con chuzos.
6. Resiembra. Se hace entre 20 y 30 días después del corte.

A continuación se describe cada una de estas labores y su importancia en un programa de producción de caña de azúcar.

Quema y encalle de residuos

En el inicio, las características del cultivo de la caña permitían la cosecha sin quema previa de la plantación, con lo cual se aprovechaba el aporte de la materia orgánica al suelo. Actualmente, debido a la mecanización en el alce, la quema es una práctica común, por lo cual los residuos de poscosecha han disminuido y el acomodamiento del material se ha simplificado, permitiendo la mecanización de esta labor con hileradoras (Figura 4).

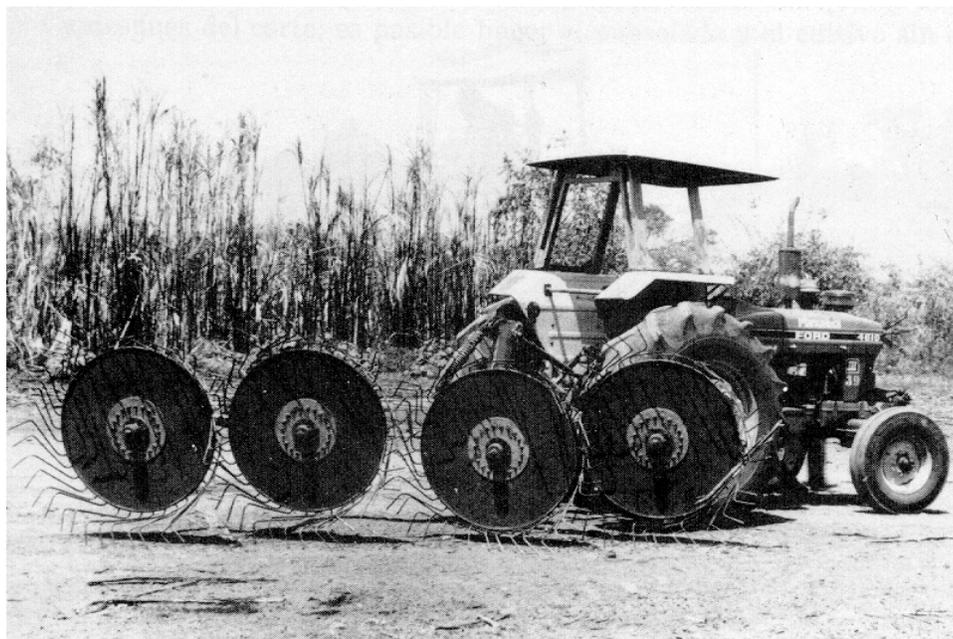


Figura 4. *Hileradora con aspas para acomodar residuos poscosecha de caña de azúcar.*

Encalle mecánico. Esta labor se realiza con tractores livianos de 70 a 80 HP, sin lastre en las llantas traseras. Se utilizan equipos del tipo TOFT (Figura 5) que permiten hacer el encalle en forma perpendicular a las líneas de los surcos. Con este sistema, los residuos se pueden acomodar en cuatro hileras, de las cuales dos permanecen sobre los callejones de los tablonces de la caña, y las otras dos sobre la zona de cultivo (Figura 6). Esta operación se hace después de la quema completa de los residuos para facilitar el subsolado y el cultivo del campo, y para un mejor control de malezas. El encalle mecánico sólo se debe hacer en períodos secos, ya que en períodos húmedos las llantas de los tractores utilizados en dicha labor dejan las huellas sobre el suelo y contribuyen a su compactación.

Encalle manual. Se puede realizar con instrumentos sencillos, comúnmente denominados garabatos, o con ganchos metálicos de tres dientes. Con este sistema es posible organizar los residuos dejando dos calles libres (encalle 2 x 1), lo que permite la fertilización mecanizada de tres hileras en forma simultánea.

Cuando los residuos son escasos, el encalle manual se debe organizar dejando cinco calles libres y una con los residuos (encalle 5 x 1). Este sistema permite la aplicación mecánica de los fertilizantes en seis hileras en sólo dos pases.



Figura 5. Encalladora tipo Toft para residuos poscosecha de la caña de azúcar.

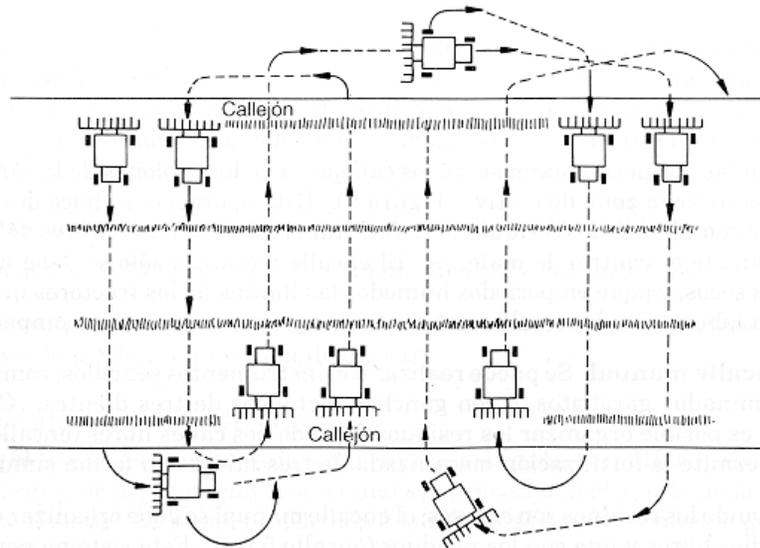


Figura 6. Diagrama del encalle mecánico de residuos poscosecha de la caña de azúcar.

En algunas zonas de baja productividad, donde se hace una quema adecuada antes y después del corte, es posible hacer el subsolado y el cultivo sin encalle previo.

Subsolado

Es una labor frecuente en la etapa de preparación de suelos para siembra, y necesaria cuando la cosecha se hace en períodos húmedos en suelos de texturas pesada y media. En algunas zonas se encuentran capas duras en el subsuelo que impiden la infiltración de agua a través del perfil. En estas condiciones, el agua se pierde por escorrentía, ocasionando un déficit de humedad en el subsuelo y, por lo tanto, una mayor necesidad de riego en la época seca.

La superficie compactada se puede roturar con un subsolador y, de esta manera, se mejoran las condiciones de permeabilidad en el suelo, creando un medio adecuado para el crecimiento de las raíces. El subsolado se debe hacer hasta 40 cm de profundidad mediante el empleo de tractores con 130 a 140 HP. No obstante, en algunos suelos arcillosos del valle geográfico del río Cauca, como los de las series Galpón, Líbano, Puerto Tejada, Juanchito y La Herradura, se requieren tractores del tipo oruga, con mayor potencia.

En las labores de subsolado es necesario tener presente las recomendaciones siguientes:

1. La operación a lo largo del surco debe ser continua y a la misma profundidad.
2. No se debe perturbar el borde de los canales de riego; por lo tanto, la operación se debe realizar a 1 m de distancia de éstos.
3. El borde del canal que recibe el agua de drenaje se debe romper.
4. En suelos pesados se recomienda construir la acequia que sirve de drenaje antes de efectuar las labores de subsolado.

En resumen, el subsolado ayuda a la aireación, mejora la infiltración del agua y reduce la compactación del suelo; por lo tanto, permite el enraizamiento de la planta a mayor profundidad.

Para el subsolado se emplean implementos de tipo integral con dos brazos. Cada brazo roturador es largo y angosto con una punta pesada en forma de cuña, que trabaja ligeramente por debajo de la superficie endurecida del subsuelo, levantando y rompiendo el suelo hacia el frente y a los lados. Los mejores resultados se obtienen cuando esta labor se hace en época seca.

Actualmente se emplean subsoladores con brazos en forma semiparabólica (Figura 7) con una punta adelante que favorece una mayor fractura del suelo hacia arriba. Con este implemento es posible reducir hasta 20% de los requerimientos de potencia en la máquina, lo que permite el uso de tractores con llantas en suelos de texturas finas.



Figura 7. *Subsolador de brazos semiparabólicos.*

Labor de cultivo

La cultivada o cultivo en la caña se realiza con un implemento que consta de dos o tres brazos cortos que se pasan a una profundidad entre 20 y 25 cm por calles separadas 30 cm de la línea de siembra. El objeto de esta labor es: (1) romper las capas duras superficiales o costras del suelo; (2) reducir la invasión de malezas; y (3) remover el suelo alrededor de las plantas para favorecer la infiltración del agua y la aireación en la zona de raíces.

Aporque

El aporque en la caña es importante en zonas con alta precipitación y suelos de texturas finas, ya que crea un desnivel de 15 a 20 cm entre el fondo de la calle y las cepas de la planta, lo cual evita que el exceso de agua cubra estas últimas e impida su rebrote. En forma adicional, esta labor facilita el riego por surcos y reduce el daño de la maquinaria sobre las cepas. Existen equipos integrados que permiten cultivar, aporcar y fertilizar en un solo pase del tractor (Figura 8).

Resiembra

La resiembra consiste en plantar nuevamente cepas o tallos en los sitios donde el material no germinó o las plantas se perdieron después del corte.

La germinación en una plantación puede fallar por varias razones, según se trate de plantilla o de socas.



Figura 8. *Equipo integral para cultivo, fertilización y aporque de la caña de azúcar.*

En la plantilla, la germinación puede fallar por:

1. Uso de material de siembra proveniente de plantaciones viejas que no tienen yemas funcionales.
2. Fallas en los riegos de germinación.
3. Exceso en la profundidad de colocación del material vegetativo, o la exposición de éste al sol por un período prolongado de tiempo.
4. Uso de material vegetativo deshidratado o con daño de insectos.
5. Suelos mal drenados y con preparación deficiente.

En las socas, el rebrote después del corte puede ser deficiente por:

1. Daño sobre las cepas por el tránsito de la maquinaria durante la cosecha, especialmente en la época de lluvias.
2. Volcamiento temprano de las plantas.
3. Corte profundo que puede afectar las cepas o cosecha tardía que favorece la pudrición de éstas.
4. Ataque de roedores.

5. Despaje de las plantas en época tardía.
6. Mal drenaje de los suelos.

Aunque en el cultivo de la caña de azúcar no existe una norma precisa de cuándo hacer la resiembra, es común hacerla cuando los espacios libres sin plantas en el surco son mayores de 1 m, o cuando el área descubierta es mayor de 5%. Esta práctica se debe hacer, en lo posible, dentro de los 10 días siguientes a la germinación de 80% de los trozos de tallo en el surco, aunque puede hacerse hasta 40 días después de plantar el material. En socas, la resiembra se debe realizar hasta 10 días después del despaje, cuando es posible observar los espacios vacíos dentro de la plantación.

Como materiales para resiembra se pueden emplear trozos de tallos tiernos de 7 a 9 meses de edad, trozos de cogollos de caña madura, fracciones de macollos, trozos de cepas y estacas pregerminadas en bolsas.

Resiembra con trozos de tallos. Este sistema varía según el tipo de material que se utilice. Si se emplean trozos de tallos o cogollos, la resiembra se puede hacer con barretón o pala, colocando dos trozos de 30 cm por sitio a una distancia de 50 cm y dejando una porción de 5 a 10 cm del material sin cubrir. También se pueden hacer surcos en los espacios despoblados y colocar el material en el fondo, tal como se hace en la siembra inicial.

Resiembra con rebrotes o cepas (macollos). Este material no debe tener más de 2.5 meses de edad. El macollo se planta con pala o barretón y se debe regar con frecuencia para favorecer su establecimiento.

Resiembra con cepas. Se utiliza principalmente en socas. Para el efecto se seleccionan cepas sanas y vigorosas dentro de la misma plantación. Es un sistema similar al de resiembra por macollos, y se utiliza hasta 30 días después de la siembra.

Resiembra con yemas pregerminadas. Consiste en plantar yemas en bolsas plásticas que se conservan en vivero durante 40 a 50 días. Estas yemas, una vez germinadas, sirven para resembrar áreas de socas hasta 20 días después del corte.

Referencias

- Academia de Ciencias de Cuba. 1965. Manual de normas técnicas para la mecanización, siembra y cultivo de la caña. La Habana, Cuba.
- Barger, E. L.; Liljedahl, J.B.; Carleton, W.M; y McKibben, E. G. 1967. Tractor and their power units. John Willey and Sons, Inc., Nueva York.
- Bowen, J. B. y Kratky. 1985. Compactación del suelo. Agricultura de la Américas 34(6):10-14.

Labores de Cultivo

- CENICANÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). 1984._____.
Informa Anual 1984.
- Fonseca, M.; Domínguez, M.; Achilbay, A.; y Ramírez, R. 1982. Compactación ocasionada por la cosechadora y el tractor remolque: Efectos de los neumáticos de la KTP-1 y varios pases de tractor Belarus YUMS-6M con remolque 2 PTT-6. Revista de la Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba (ATAC) 41(5):27-33.
- Humbert, R. P. 1965. El cultivo de la caña de azúcar. Editorial Universitaria, La Habana, Cuba. p. 20.
- Ramos, G. 1970. Curso de caña de azúcar. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Nacional de Colombia, Palmira. (En manuscrito).
- Torres, J. S.; Yang, S. J.; y Villegas, F. 1990. Soil compactación and cane stool damage by semi-mechanized harvesting systems in the wet season. Sugar cane 5:12-18.

Riegos

Jorge Torres Aguas*

Introducción

El riego de la caña de azúcar es una práctica rutinaria en el valle geográfico del río Cauca y cerca del 95% del área cultivada recibe riego suplementario. En la región, la precipitación anual varía entre 800 y 2600 mm y su promedio es de 1000 mm. Durante el año se presentan dos períodos de lluvias que comprenden desde marzo hasta mayo y desde octubre hasta noviembre. La topografía es plana, con pendientes inferiores a 1.5%. Durante los últimos años, el área cultivada con caña se ha incrementado en más de 20,000 ha y en la actualidad se estima que existen 185,000 ha de este cultivo. Este aumento en el área cultivada ha hecho que el cultivo se desplace hacia zonas de piedemonte de la Cordillera Central y a regiones con pendientes limitantes para la aplicación de riego por gravedad o aspersión.

La disponibilidad de agua para riego ha disminuido en forma notable durante los últimos años, debido a cambios en la cantidad y en la frecuencia de las lluvias, ocasionados por la tala incontrolada de los bosques en las cuencas hidrográficas y por la explotación excesiva de los acuíferos superficiales. En años con precipitación normal, es común encontrar niveles freáticos superficiales con agua de buena calidad que pueden suministrar entre 40% y 50% de los requerimientos del cultivo. Por consiguiente, es importante manejar estos niveles como una fuente de agua para subirrigación.

La información aquí presentada es resultado de las investigaciones cooperativas adelantadas por CENICAÑA y los ingenios azucareros, las cuales han generado una serie de alternativas prácticas que permiten mejorar el manejo del agua y sirven como base para la programación de los riegos por medio del balance hídrico.

El Agua en el Suelo

El suelo está integrado por una serie de partículas que varían en tamaño y proporción, dando origen a texturas entre arenosas y arcillosas pasando por los suelos francos. Las partículas del suelo —arenas, limos y arcillas— se agrupan formando agregados, dentro de los cuales existen espacios vacíos que almacenan el agua y los gases. Así, el suelo se puede considerar como un reservorio de donde las plantas toman el agua necesaria para los procesos de transpiración y para el transporte de los nutrimentos del suelo a los tejidos.

* Ph.D., Director del Programa de Agronomía de CENICAÑA.

La capacidad de almacenamiento de agua en el suelo varía con la textura y la estructura. Los suelos arenosos poseen poros grandes, pero el volumen total de éstos es pequeño, dando como resultado una baja capacidad del almacenamiento. En estos suelos es necesario aplicar riegos frecuentes en los períodos secos para evitar que los cultivos sufran por déficit de agua. Por otra parte, los suelos arcillosos, que son comunes en el valle geográfico del río Cauca, poseen hasta 60% de arcillas expandibles de tipo 2:1. Las arcillas son partículas laminares pequeñas de poco peso y de una gran área superficial. Los suelos arcillosos tienen poros pequeños y su volumen total es alto, lo cual les permite una alta capacidad de almacenamiento de humedad; por lo tanto, en estos suelos, la necesidad de riegos es menos frecuente. Los suelos francos poseen características intermedias entre los arenosos y los arcillosos, que les dan ventajas desde el punto de vista de almacenamiento y disponibilidad de agua para los cultivos.

El agua disponible para las plantas depende, principalmente, de la fuerza con la cual el suelo retiene la humedad. Cuando el suelo tiene un bajo contenido de humedad, el agua se encuentra formando películas delgadas alrededor de las partículas, las cuales la retienen con tanta fuerza que las plantas no pueden extraerla; en consecuencia, éstas mueren por marchitamiento. En este momento, se dice que el contenido de humedad en el suelo corresponde al punto de marchitamiento permanente (PMP). Asimismo, cuando todos los poros se llenan con agua, se dice que el suelo está saturado y esto ocurre durante un período relativamente corto después de una lluvia fuerte o riego. Existe una fracción de los poros en el suelo que se denomina macroporos, en la cual el agua no es retenida y se pierde por gravedad. En este momento aparece el valor definido como capacidad de campo (CC), que corresponde al agua retenida en los microporos del suelo por las fuerzas de cohesión entre las moléculas de agua y por adhesión de éstas con las partículas del suelo. Este mecanismo da origen a superficies curvas o “meniscos de agua”, cuyo radio de curvatura está en proporción inversa con la magnitud de la fuerza de retención de la humedad.

La textura del suelo afecta las características de retención de la humedad; así, por ejemplo, a una misma magnitud de las fuerzas de retención de humedad, los suelos arcillosos retienen más agua que los arenosos. La cantidad de agua retenida por el suelo entre los valores de capacidad de campo y punto de marchitamiento se conoce como “Agua Aprovechable” para las plantas. Sin embargo, los cultivos tienen diferente capacidad para extraer la humedad del suelo y algunos de ellos toleran valores de humedad próximos al punto de marchitamiento permanente, reduciendo su producción o la calidad de la cosecha. En consecuencia, es necesario definir el nivel de agotamiento de la humedad en el suelo para cada región y tipo de cultivo. En general, para el manejo de cultivos comerciales anuales y perennes se toma como nivel de agotamiento el 50% del agua aprovechable.

Las características hídricas de los suelos más importantes del valle geográfico del río Cauca se presentan en el Cuadro 1. Estos valores se han obtenido en más de 50 perfiles de suelos en donde CENICAÑA ha realizado investigaciones sobre el manejo del agua. Los suelos de la región son, en general, superficiales,

Cuadro 1. Lámina de agua rápidamente aprovechable en las series de suelos más importantes del valle geográfico del río Cauca, Colombia.

Orden de suelo	Serie de suelo	Textura	D.A. (g/cm ³)	Lámina de agua (mm/cm)	Marcas del Cenitrómetro	
					EVc1 = 3.7xLARA ₁ (cm)	EVc2 = 1.6xLARA ₂ (cm)
Alfisol	Argelia (Vertic Haplustoll)	Far - Ar	1.3 - 1.4	0.5 - 0.6	13	7
Mollisol	Florida (Entic Haplustoll)	Far - A	1.3 - 1.5	0.5 - 0.7	13	8
Mollisol	Manuelita (Pachic Haplustoll)	FAR - Fa	1.2 - 1.6	0.5 - 1.0	17	10
Mollisol	Río Cauca (Fluventic Haplustoll)	FL - Ar	1.2 - 1.5	0.6 - 1.0	18	10
Mollisol	Palmira (Pachic Haplustoll)	F - Ar	1.2 - 1.6	0.5 - 0.8	15	8
Inceptisol	Palmeras (Vertic Eutropept)	F - Ar	1.1 - 1.5	0.6 - 0.8	16	9
Inceptisol	Bengala (Vertic Eutropept)	F - Ar	1.2 - 1.5	0.5 - 1.0	17	10
Inceptisol	Puerto Tejada (Vertic Tropaquept)	F - FAr	1.3 - 1.7	0.5 - 0.8	14	8
Vertisol	Herradura (Udic Pellustert)	Ar - FArL	1.3 - 1.5	0.5 - 0.7	13	8

de origen aluvial, de alta fertilidad y con buenas propiedades físicas. En su mayoría son de textura media a fina, con estructura bien desarrollada en forma de bloques subangulares. El rango del agua aprovechable en estos suelos es estrecho y su capacidad de retención de humedad varía entre 1 y 2 mm de agua por cada centímetro de profundidad.

En las evaluaciones de campo se ha encontrado que en los primeros 40 cm del suelo superficial se concentra entre 85% y 92% del sistema radical de la caña; por lo tanto, para calcular el agua aprovechable que se almacena en el perfil del suelo se puede asumir una profundidad radical de 60 cm durante 2 a 4 meses del período inicial de desarrollo, y de 80 cm para el período de desarrollo restante. La aplicación de los riegos suplementarios depende de la precipitación y se pueden programar cuando se haya consumido entre 50% y 60% del agua aprovechable.

Requerimientos de Riego

El consumo total de agua de la caña de azúcar en los diferentes países varía en forma amplia, debido a las diferencias en los ciclos de cultivo. Por lo general, este consumo oscila entre 1200 y 1500 mm por año de cultivo, siendo mayor en las zonas subtropicales que se caracterizan por épocas secas más prolongadas y por una evaporación mayor que en las zonas tropicales.

La evapotranspiración o consumo diario de agua por la planta, equivale al agua que se pierde por evaporación directa desde la superficie del suelo más el agua que se pierde por transpiración a través del tejido foliar. La evapotranspiración es afectada por factores del suelo, la planta y el clima. Cuando el contenido de humedad en el suelo es alto, las plantas pueden transpirar a su máxima capacidad y en este momento la evapotranspiración es potencial (ETP). A nivel mundial se han registrado valores de ETP que varían desde 3.7 mm/día en Colombia hasta 15.7 mm/día en Ayr (Australia). En el valle geográfico del río Cauca, ubicado en la zona tropical a 3° de latitud norte y a 1000 m.s.n.m., las fluctuaciones mensuales de temperatura, brillo solar y evaporación son pequeñas, mientras que en las zonas subtropicales de Argentina, Suráfrica y Australia, la caña se cultiva en áreas próximas al nivel del mar en donde la temperatura en el verano es alta y, por consiguiente, la evaporación es mayor (entre 7 y 15.7 mm/día).

En condiciones normales de campo, la humedad en el suelo es variable y puede disminuir hasta niveles intermedios entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento. En este caso, las plantas transpiran a una tasa inferior a la potencial, conocida como Evapotranspiración actual (ETA).

En suelos de textura fina y bajo condiciones húmedas, la evaporación desde la superficie del suelo puede ser alta antes del cierre del cultivo. Posteriormente, cuando la cobertura foliar es de 100%, la evapotranspiración se mantiene muy próxima a la evaporación de una superficie de agua libre; en este momento, la evaporación desde el suelo es mínima y el cultivo pierde agua por transpiración. En las condiciones del valle geográfico del río Cauca, se han encontrado valores

Riegos

de ETa de 2.1 mm/día en el período de macollamiento de la caña (2 a 4 meses) y de 3.1 mm/día en el período de rápido crecimiento (4 a 10 meses). En el Cuadro 2 se resumen la información hídrica y de las cosechas de la plantilla y dos socas de la variedad CP 57-603, obtenidas por CENICAÑA en un experimento de evapotranspiración realizado en lisímetros de percolación. Los requerimientos de agua de la caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca por ciclo de cultivo de 13 meses, oscilan entre 1000 y 1250 mm.

En la región se ha encontrado una relación directa entre la ETa y la Ev (Evaporación) (Figura 1), lo cual permite calcular la primera a partir de la evaporación medida en un tanque de evaporación clase A. Una vez estimado el valor de la ETa se puede, fácilmente, implementar la programación de los riegos por el método del balance hídrico. Los ensayos sobre requerimientos de agua han permitido estimar los siguientes factores de corrección para la evaporación del tanque: $K = 0.3$ para el período de macollamiento (2 a 4 meses), y $K = 0.7$ para el período de rápido crecimiento (4 a 10 meses).

Cuando la siembra de la caña se realiza en épocas secas, los riegos durante el período de germinación se hacen por aspersión y, en algunos casos, por gravedad. Después de la germinación y hasta 10 meses de edad se aplican entre dos y seis riegos. A partir de esta edad se recomienda suspender los riegos para las variedades que se cosechan entre 12 y 13 meses. En los suelos del valle

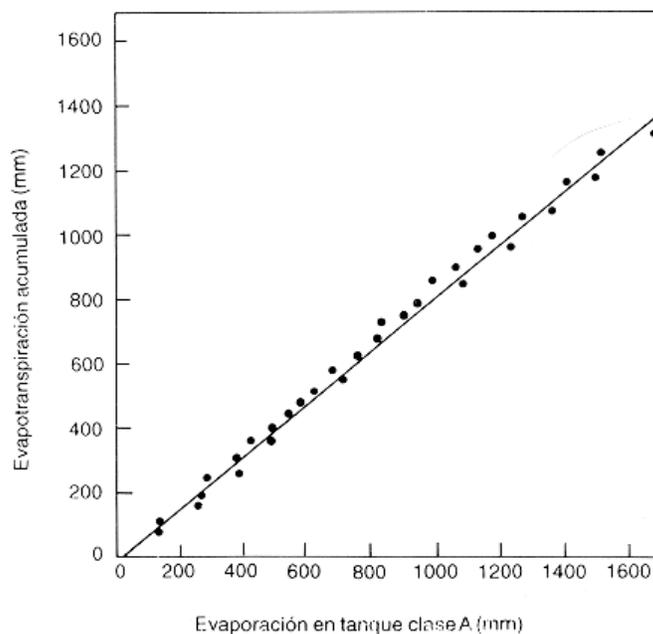


Figura 1. Relación entre la evapotranspiración de la caña y la evaporación en tanque clase A. CENICAÑA.

Cuadro 2. Información hídrica y de cosecha de caña de azúcar variedad CP 57-603 en estudios de evapotranspiración. Valle geográfico del río Cauca, Colombia.

Parámetro	0.3			0.6			0.9			1.2		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Hídricos:												
No. de riegos	5	1	2	8	4	4	9	9	9	16	15	14
Agua aplicada (mm)	285	70	100	456	280	240	513	630	590	913	1050	940
Precipitación (mm)	928	1077	1320	928	1077	1320	928	1077	1320	928	1077	1320
Percolación (mm)	81	134	647	183	147	552	406	361	906	597	706	945
Agua recibida (mm)	1132	1013	773	1201	1210	1008	1035	1346	1004	1244	1421	1315
Evaporación (mm)	1444	1580	1683	1444	1580	1683	1444	1580	1683	1444	1580	1683
Factor estimado para el tanque	0.78	0.64	0.46	0.83	0.76	0.60	0.72	0.85	0.60	0.86	0.84	0.78
De cosecha:												
Tallos (x10,000/ha)	73	77	70	62	82	63	91	91	83	90	79	93
Long. tallos (cm)	298	233	273	302	202	280	304	302	276	314	324	283
Producción (t/ha)	211	141	146	164	175	123	221	223	175	237	201	161
ARE (%)	11.71	12.64	10.85	11.42	12.64	12.70	11.60	12.64	11.32	11.04	12.64	10.90
Azúcar (t/ha)	24.71	17.82	15.84	18.73	22.16	15.56	25.66	28.17	19.81	26.16	25.41	17.54

geográfico del río Cauca es común encontrar niveles freáticos superficiales que pueden suministrar hasta 60% de los requerimientos de agua. En el campo es posible controlar la posición del nivel freático entre 1.0 y 1.2 m, sin reducir la producción de caña. Estudios en zonas con nivel freático alto, indican que es posible reducir el valor de K de 0.7 a 0.5 en el período de rápido crecimiento del cultivo, debido al aporte de agua de subirrigación a partir del nivel freático.

Fuentes de Agua

El agua para riego de la caña de azúcar proviene principalmente de fuentes superficiales y subterráneas. Las primeras están formadas por ríos y quebradas cuyo caudal base disminuye considerablemente durante los períodos secos, siendo necesario recurrir a fuentes más confiables como el agua subterránea. Ultimamente, algunos ingenios azucareros de la parte norte del valle geográfico del río Cauca —donde los acuíferos son menos abundantes y profundos que en la parte central y sur— usan para el riego de las plantaciones el agua del río Cauca que mantiene un caudal base entre 80 y 120 m³/seg, registrado entre los sitios Juanchito y Riopaila. Esta agua, desde el punto de vista químico, es de buena calidad, pero desde el punto de vista físico puede presentar problemas por la alta carga de sedimentos y materia orgánica.

Unidades litológicas

De acuerdo con Tenjo¹, en los suelos de la región se pueden diferenciar tres unidades litológicas (Figura 2), cuyas características principales se describen a continuación.

Unidad A. El promedio del espesor es de 110 m en el sur y de 50 m en el norte del valle geográfico del río Cauca. En la superficie de esta unidad predominan las capas de arcilla y limo. En la parte inferior se encuentran capas permeables de arena y grava, intercaladas con limo y arcilla. Los acuíferos presentes pueden ser libres, semiconfinados y confinados. Esta unidad se explota actualmente en forma intensa y su rendimiento en los últimos años cada vez es menor.

Unidad B. El promedio de su espesor es de 80 m y funciona como un estrato que confina los acuíferos presentes en la Unidad C que está a mayor profundidad. Se caracteriza por sedimentos de arcilla y limo con presencia de arena y grava. Esta formación se encuentra, principalmente en el sur, desde Puerto Tejada hasta Buga, aunque también aparece en la zona de Zarzal con sedimentos de mayor permeabilidad.

Unidad C. Se encuentra en la parte sur. Situada a profundidades mayores de 190 m, está formada por sedimentos permeables de arena y grava intercalados en una proporción casi igual con arcilla y limo. Aparentemente es el acuífero más rico y su explotación se inició recientemente.

1. Tenjo, S. 1991. Curso sobre explotación, aprovechamiento y manejo del agua subterránea. Corporación Autónoma del Valle del Cauca (CVC).

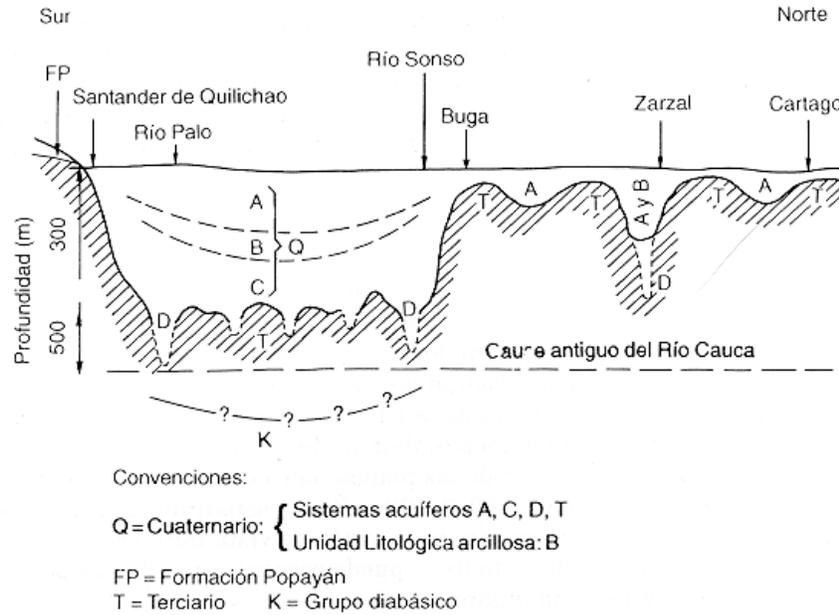


Figura 2. Esquema longitudinal de la hidrología del Valle geográfico del río Cauca, Colombia.
 FUENTE: Tenjo, S. 1991. Curso sobre explotación, aprovechamiento y manejo del agua subterránea. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC).

Entre 1973 y 1990, en la región se perforaron 1918 pozos; de éstos, 1700 están en operación con una capacidad de producción de 114 m³/seg. Tienen caudales entre 120 y 200 lt/seg en la zona sur y de 20 a 100 lt/seg en el norte. Los pozos perforados entre Santander de Quilichao y el río Sonso, con profundidades superiores a los 40m, proporcionan agua de buena calidad química y bacteriológica, debido a que las aguas subterráneas en esta zona son ricas en calcio y magnesio, elementos que provienen de las rocas diabásicas de la Cordillera Central. Las zonas localizadas en la planicie de inundación del río Cauca presentan altos contenidos de sulfatos, y a lo largo de los ríos Párraga y Amaime el sodio se encuentra en altas cantidades.

Durante 1990 se regaron 90,000 ha de cultivos, de las cuales 84,000 correspondieron a caña de azúcar; para el efecto se emplearon, aproximadamente, 1089 x 10⁶ m³. Entre 1976 y 1990, la demanda de agua superficial aumentó en forma constante de 102 a 150 m³/seg y durante el mismo período el consumo de agua subterránea aumentó de 53 a 114 m³/seg. Los pozos de agua para riego operan, en promedio, durante 3400 horas/año, lo cual resulta en una extracción

Riegos

de agua por pozo y por año de $1.4 \times 10^6 \text{ m}^3$, con caudales de 114 lt/seg. No obstante, el suministro de agua está garantizado sin llegar a la explotación excesiva de los acuíferos, ya que la recarga anual de éstos en la región es del orden de $3400 \times 10^6 \text{ m}^3$, siendo superior al volumen extraído ($1000 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$). Una excepción la constituye el área entre los ríos Desbaratado y Párraga, donde existen 697 pozos que extraen cerca del 40% del agua subterránea. En esta área, el bombeo excesivo y la gran concentración de pozos han ocasionado una sobreexplotación del agua subterránea.

Manejo del Agua

En las regiones semiáridas, el riego es indispensable para asegurar un buen desarrollo y producción de la planta, mientras que en las zonas húmedas se utiliza en los períodos secos para evitar el estrés que pueda presentar el cultivo. El riego es costoso y su aplicación requiere de personal calificado; por lo tanto, en la selección del sistema se debe tener en cuenta el tipo de suelo, la velocidad de infiltración, la profundidad radical, la topografía y la disponibilidad de agua y de mano de obra.

La eficiencia de aplicación del riego por aspersión puede llegar a 85%, pero tiene un alto costo inicial debido a los sistemas de distribución y aplicación, al costo de la mano de obra y al mantenimiento de los equipos. De otra parte, el riego superficial demanda menos costo de instalación, pero su eficiencia en el valle geográfico del río Cauca varía entre 30% y 50%.

Las fuentes de agua para riego son arroyos, lagos, ríos y en un alto porcentaje el agua subterránea. Una práctica común es construir reservorios para almacenar el agua superficial y la extraída de los pozos durante la noche. Este sistema permite disponer del caudal almacenado más el agua obtenida de la fuente superficial y por el bombeo directo realizado durante el día; de esta manera, se logra regar una mayor área de cultivo. El agua se deriva de las fuentes superficiales en forma directa por gravedad o por bombeo, y se conduce a los campos mediante canales superficiales con capacidad de 300 a 1200 lt/seg. En la parte más alta de los campos se construyen acequias regadoras donde se instalan motobombas para los equipos de riego por aspersión.

El agua para el riego por gravedad se entrega a los surcos por medio de cortes o boquetes abiertos en las paredes del canal. Para la entrega de un caudal regulado a cada uno de los surcos se recomienda el uso de sifones o tubos cortos. Las acequias de riego son secciones triangulares construidas en el suelo con una capacidad de conducción entre 100 y 120 lt/seg. Una diferencia de nivel de 5 a 10 cm entre el agua de la acequia y la cabecera del surco permite derivar entre 2 y 6 lt/seg, con el uso de sifones de 5 a 10 cm de diámetro. La longitud de los surcos depende de la pendiente del campo, la velocidad de infiltración, el caudal aplicado en cada surco y el tiempo de avance del agua.

Los suelos del valle geográfico del río Cauca presentan, en su mayoría, una alta velocidad de infiltración y los surcos de riego varían entre 120 y 150 m.

Cuando la velocidad de infiltración es alta (superior a 30 mm/hora) es necesario construir surcos más cortos con caudales de 4 a 6 lt/seg para reducir las pérdidas de agua por percolación. En campos con velocidades de infiltración de media a baja (10 a 30 mm/hora), el caudal aplicado por surco debe ser menor (4 a 6 lt/seg) y los surcos deben ser más largos para lograr un mayor tiempo de contacto del agua con el suelo. En suelos muy compactados o con mala estructura, la velocidad de infiltración puede ser inferior a 5 mm/hora, siendo necesario aplicar riegos con caudales pequeños (20 a 30 lt/hora por surco). En este último caso, los surcos deben ser cortos, ya que el agua avanza como un frente de humedecimiento debido a la diferencia de potenciales hídricos y el tiempo de riego dura más de 3 días, para lo cual se requiere la distribución del agua al campo por medio de tubería de baja presión (< 2 a 3 m) en la captación. De manera experimental se está probando con buenos resultados el uso de caudales pequeños (30 lt/hora por surco) en suelos con velocidades de infiltración menores de 5 mm/hora.

En el valle geográfico del río Cauca, el riego se aplica únicamente durante la fase de avance, cortando el agua antes de que el frente de avance llegue al final del surco. Esta forma de riego permite reducir las pérdidas por percolación profunda, aunque se sacrifica, en parte, la uniformidad en la aplicación del agua. En los campos comerciales, el efecto de la baja eficiencia en la aplicación de riego no se refleja en el desarrollo y producción de la caña, debido a que el riego requerido es suplementario y las lluvias pueden compensar la baja uniformidad en la aplicación a lo largo del surco.

En general, la eficiencia de aplicación de riego por surcos es menor de 50%. Una modificación al sistema de aplicación del agua a los surcos, probada en formas experimental y comercial, consiste en la aplicación alterna, lo cual no reduce la producción de caña y de azúcar, pero sí aumenta la eficiencia de aplicación y de la mano de obra de 1.2 a 2.5 ha en 12 horas de labor. En un Inceptisol del Valle del Cauca, se comparó la aplicación de volúmenes de agua en tres eventos de riego de plantilla y se encontró una mayor economía en el uso del agua al regar por surcos alternos. Durante el primer riego no se encontraron diferencias en el volumen de agua aplicado por riego continuo y por surco alterno, pero a partir del segundo y tercer riego se observaron economías al aplicar 10% y 46% menos de agua (Cuadro 3). Lo anterior se explica porque el suelo durante el período inicial de desarrollo de la plantilla se encuentra por lo general perturbado, como resultado de las prácticas intensivas de preparación para siembra. Después del primer riego ocurre un proceso de compactación natural que reduce la velocidad de infiltración y hace posible el uso del riego por surcos alternos.

Cuadro 3. Economía de agua (%) con la aplicación del riego por surcos alternos en relación con la aplicación por surcos continuos.

Riego no.	Plantilla	Primera soca	Segunda soca
1	- 1	+ 41	+ 31
2	+ 10	+ 37	+ 48
3	+ 46	+ 33	—

El manejo comercial del agua que se aplica en riegos por surcos alternos es similar al manejo cuando se aplica en surcos continuos. Sin embargo, se ha observado que el tiempo de avance puede aumentar hasta en 30% cuando se aplica el mismo caudal por surco. Si se tienen tiempos de avance muy largos, es posible incrementar entre 1 y 2 lt/seg el caudal por surco. La eficiencia que normalmente se alcanza con el riego por surcos alternos es de 60% a 70%, mientras que con el riego por surco continuo es de 30% a 40%.

El riego por goteo es un sistema popular en aquellas regiones donde la disponibilidad de agua y de mano de obra son bajas y consiste en la aplicación de agua en forma frecuente y de manera lenta en la zona radical de las plantas. En 1979, se inició en Hawaii el riego de la caña por goteo y actualmente cubre casi el 100% del área cultivada. El principal objetivo del sistema es proporcionar un nivel de humedad óptimo y constante que garantice un buen desarrollo del cultivo.

Entre las ventajas del riego por goteo se pueden mencionar: requiere baja presión, permite el ahorro de energía, requiere bajos caudales de agua, tiene alta eficiencia de aplicación (> 90%), permite el ahorro en mano de obra y agua, la fertilización conjunta con el riego ("fertigación") reduce la presencia de malezas, permite el cultivo en suelos marginales de baja fertilidad y baja capacidad de retención de agua. Entre las desventajas de este sistema se encuentran: los altos costos y requerimientos de mantenimiento, requiere fuentes de agua de alta calidad física y química para evitar la obstrucción de los goteros, la alta posibilidad de acumulación de sales en el suelo, y la imposibilidad de humedecer el tejido foliar. El riego por goteo se adapta bien a cultivos dispuestos en hileras pero, en muchos casos, la alta inversión que demanda su instalación no lo hace viable.

Programación de los Riegos

La programación de los riegos en el cultivo de la caña de azúcar se hace, por lo general, de manera empírica y casi siempre sin tener en cuenta la relación suelo-agua-planta. Lo anterior conlleva el riesgo de aplicar un número excesivo de riegos o de someter el cultivo a períodos de déficit de agua, que pueden afectar la producción y la calidad de la caña.

La planta es un buen indicador fisiológico del momento oportuno para la aplicación del riego. Así, la apertura de los estomas, la temperatura de las hojas, el potencial del agua en el tejido foliar, el índice de humedad de Clements y la apariencia del cultivo, se toman como índices para programar los riegos. No obstante, los métodos más conocidos consisten en: la apreciación al tacto de la humedad en el suelo, las determinaciones gravimétricas, las mediciones del potencial mátrico usando tensiómetros, el uso de bloques de resistencia eléctrica (celdas de nylon) y sonda de neutrones, aunque actualmente se usan nuevos equipos como el TDR (Time Domain Reflectometer), el FDM (Frequency Domain Meter) y los tensiómetros de estado sólido. El empleo de los anteriores métodos requiere la lectura periódica de los parámetros de evaluación y, en algunos casos, es necesario utilizar equipos especializados y costosos, lo cual hace su empleo en el campo poco atractivo.

En un principio la programación de los riegos en el cultivo de la caña de azúcar a nivel mundial se hacía con base en determinaciones gravimétricas, lecturas de tensiómetros y bloques de yeso, pero últimamente los requerimientos de riego se estiman a partir de la evaporación del tanque Clase A. En este método, se considera que los factores climáticos que afectan la evaporación del agua de una superficie de agua libre, son los mismos que controlan la transpiración de agua desde la superficie de las hojas; por lo tanto, la evaporación del tanque Clase A es un buen estimativo de la evapotranspiración (ETa) de la caña, y ha sido utilizada con éxito en Hawaii, Suráfrica, Taiwan y Colombia.

La evaporación medida en el tanque Clase A se convierte en evapotranspiración al multiplicarla por un factor K de corrección, que depende de la edad del cultivo y de las condiciones del suelo. CENICANA ha encontrado que en el Valle del Cauca, durante el período de macollamiento de la planta (2 a 4 meses) se puede usar un valor $K = 0.3$, y durante en el período de rápido crecimiento (4 a 10 meses) este valor puede ser $K = 0.7$. En este último período, el valor de K se puede reducir a 0.5 cuando el nivel freático es alto (entre 1.0 y 1.2 m) para compensar, de esta forma, el aporte del agua capilar. Durante el período de maduración de la caña se recomienda suprimir los riegos.

El manejo adecuado del agua para riegos exige la determinación de la cantidad de agua necesaria y de la frecuencia de aplicación de éstos. En los últimos años ha sido común el uso de métodos micrometeorológicos para estimar la evaporación la cual, a su vez, es una ayuda valiosa para la programación de los riegos por medio del balance hídrico. Este método es sencillo, económico y tiene una precisión aceptable.

Balance Hídrico

El balance hídrico es similar a una contabilidad del agua en el suelo que permite comparar las ganancias y las pérdidas de humedad. El suelo aumenta el contenido de humedad cuando ocurre un evento de precipitación (P) o cuando se le aplica riego (R). En el campo también ocurren ganancias de humedad por contribución del nivel freático (NF), escorrentía (Es) o por flujo subsuperficial desde áreas cercanas. Las pérdidas de humedad desde el suelo se deben, principalmente, al agua que transpira la planta (Tr), a las pérdidas por evaporación desde la superficie del suelo (Ev) y por percolación profunda (Pp). El balance entre las ganancias y las pérdidas de humedad determina los cambios en el contenido de ésta en el suelo (CHS) durante un período de tiempo determinado.

Este balance se puede expresar de la forma siguiente:

$$\text{CHS} = (P + R + \text{NF}) - (\text{Ev} + \text{Tr} + \text{Pp}) \quad (1)$$

$$\text{CHS} = P + R + \text{NF} - \text{Eta} - \text{Pp} \quad (2)$$

En zonas con nivel freático profundo y asumiendo que no existe percolación profunda, la ecuación (2) se puede simplificar a la forma siguiente:

$$CHS = P + R - ETa \quad (3)$$

El contenido de humedad en el suelo y los demás parámetros de la ecuación del balance hídrico se expresan, generalmente, en términos de lámina de agua. Esta se define como la profundidad que alcanzaría la capa de agua cuando un volumen dado de ésta se coloca en una superficie impermeable. Así, al colocar un litro de agua en 1 m² se obtendrá una lámina de agua de 1 mm de profundidad, lo que es equivalente a 10 m³ de agua por hectárea.

El cambio que ocurre en el contenido de humedad en el suelo durante un período determinado, se puede estimar a partir de los contenidos de humedad inicial LAS(i) y final LAS(f), expresados como láminas de agua en milímetros, así:

$$CHS = LAS(f) - LAS(i) \quad (4)$$

$$LAS(f) = LAS(i) + P + R - ETa \quad (5)$$

Cálculo del balance hídrico diario/semanal. El cálculo del balance hídrico se hace en forma diaria, semanal o mensual. El balance diario se puede determinar con la ecuación (5), en donde la lámina de agua disponible en el suelo para el día siguiente LAS(f) se calcula diariamente restando de LAS(i) la evapotranspiración y sumando la precipitación o el riego aplicado. De esta manera, el cálculo se repite hasta cuando la lámina de agua aprovechable se aproxime a cero, siendo entonces necesario aplicar riego. En el Cuadro 4 se presenta, a manera de ilustración, un ejemplo de cálculo del balance hídrico diario.

El programa de balance hídrico permite conocer en forma aproximada el agua aprovechable en el suelo para cada una de las suertes o lotes de caña, establecer prioridades de riego por tipo de cultivo según su edad y la clase de suelo, y programar los riegos con una semana de anticipación. Si ocurren lluvias durante este período, es necesario reprogramar los riegos. En un programa de balance hídrico manual o sistematizado, es necesario hacer ajustes periódicos con base en la determinación de la humedad en el suelo.

Programación con Pozos de Observación

La ecuación general del balance hídrico incluye el aporte de agua capilar a partir de un nivel freático localizado entre 1.0 y 1.2 m de profundidad. Al eliminar las pérdidas por percolación profunda en la ecuación (1), se obtiene una relación que permite conocer el aporte de agua capilar a partir del nivel freático (NF):

$$NF = CHS - P - R + ETa \quad (6)$$

La posición del nivel freático depende de las condiciones locales que determinan el balance hídrico; por lo tanto, se sugiere construir pozos que permitan observar dicha posición durante el desarrollo del cultivo y, de esta forma, poder predecir el momento oportuno del riego.

Cuadro 4. Ejemplo de calculo del balance hidrico diario

Balance hidrico
Mes: _____ Año: _____

Dia	LAS	EV	ET	P	R	Ex	D
1	61.0	4.6	3.2	0			
2	57.8	3.3	2.3	0			
3	55.5	5.3	3.7	0			
4	51.8	3.4	2.4	0			
5	49.4	4.2	2.9	0			
6	46.5	4.6	3.2	7			
7	50.3	3.7	2.6	6			
8	53.7	5.1	3.6	0			
9	50.1	5.9	4.1	0			
10	46.0	5.1	3.6	0			
11	42.4	4.3	3.0	3			
12	42.4	3.2	2.2	0			
13	40.2	4.8	3.4	0			
14	36.8	5.1	3.6	0			
15	33.2	3.1	2.2	0			
16	31.0	2.2	1.5	2			
17	31.5	4.4	3.1	44		11.4	
18	61.0	3.7	2.6	6		3.4	
19	61.0	4.0	2.8	2			
20	60.2	3.7	2.6	0			
21	57.6	3.9	2.7	11		4.9	
22	61.0	5.6	3.9	10		6.1	
23	61.0	3.9	2.7	41		38.3	
24	61.0	4.0	2.8	0			
25	58.2	4.0	2.8	0			
26	55.4	3.7	2.6	2			
27	54.8	3.8	2.7	5			
28	57.1	2.7	1.9	5			
29	60.2	4.2	2.9	0			
30	57.3	4.9	3.4	0			
31	53.9	4.9	3.4	0			

Balance hidrico
Mes: _____ Año: _____

Dia	LAS	EV	ET	P	R	Ex	D
1	50.5	2.9	2.0	0			
2	48.5	4.3	3.0	0			
3	45.5	2.4	1.7	0			
4	43.8	3.4	2.4	0			
5	41.4	2.1	1.5	1			
6	40.9	4.6	3.2	0			
7	37.7	3.3	2.3	2			
8	37.4	2.1	1.5	0			
9	35.9	3.8	2.7	0			
10	33.2	5.6	3.9	0			
11	29.3	3.7	2.6	0			
12	26.7	4.4	3.1	2			
13	25.6	5.5	3.9	9			
14	30.7	4.4	3.1	0			
15	27.6	4.1	2.9	0			
16	24.7	3.0	2.1	2			
17	24.6	4.3	3.0	0			
18	21.6	5.7	4.0	0			
19	17.6	5.7	4.0	0			
20	13.6	5.3	3.7	11			
21	20.9	4.5	3.2	0			
22	17.7	5.3	3.7	0			
23	14.0	5.2	3.6	0			
24	10.4	4.6	3.2	0			
25	7.2	5.7	4.0	0			
26	3.2	4.6	3.2	0			
27	0.0	4.5	3.2	0	61.0		
28	61.0	3.8	2.7	0			
29	58.3	3.4	2.4	0			
30	55.9	3.9	2.7	0			
31							

Ingenio: Manuelita
 Hacienda: Gertrudis
 Suerte: 18A
 Area: 20 has
 S. suelo: Palmira

Variedad: CP 57603
 Edad: 6 meses
 K: 0.7
 Lara: 61.0 mm

Riegos

En el valle geográfico del río Cauca, la posición del nivel freático depende de la precipitación. En el ejemplo de la Figura 3 se aplicaron cuatro riegos con una frecuencia entre 25 y 30 días durante el período final de la etapa de rápido crecimiento (7 a 10 meses de edad). Durante este período, el nivel freático disminuyó en forma constante hasta una profundidad mayor de 1.2 m, considerada como crítica para el suministro de agua, ya que en este punto el aporte de agua capilar es mínimo. En consecuencia, cuando el nivel freático se mantiene a profundidades mayores de 1.2 m durante 25 días o más y en este período no ocurren lluvias apreciables, es necesario aplicar riego.

Los pozos de observación se pueden construir con secciones de manguera plástica de 1.5-2.0 m de longitud y de 2.5 a 3.0 cm de diámetro, perforadas con agujeros de 2 a 3 mm en el extremo (0.5 a 1.0 m) que se coloca dentro del suelo. Inicialmente, la red de pozos de observación se puede construir colocando tres pozos en un arreglo triangular. Posteriormente, una vez que se hacen las primeras lecturas, se decide si se colocan más pozos, lo cual se hace siguiendo siempre un arreglo triangular.

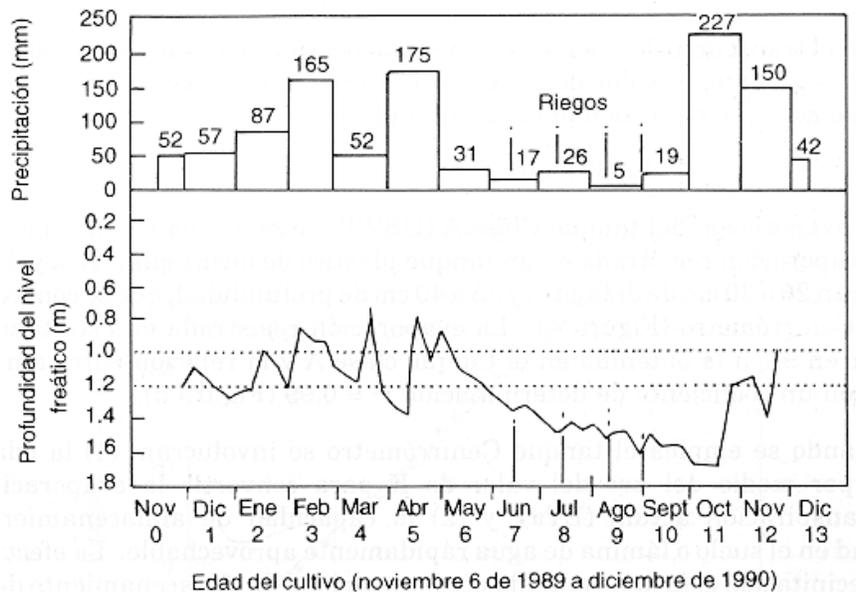


Figura 3. Comportamiento del nivel freático durante el desarrollo del cultivo de la caña de azúcar. Valle geográfico del río Cauca, Colombia.

Programación con el Tanque “Cenirrómetro”

El balance de humedad es un proceso hídrico que opera en forma natural. Si se conocen los factores que determinan los cambios de humedad en el suelo, se pueden predecir los cambios en la lámina de agua disponible y, de esta forma, se puede anticipar la fecha de riego.

El tanque “Cenirrómetro” desarrollado por CENICAÑA considera el suelo como un reservorio de agua para las plantas y aprovecha el concepto del balance hídrico natural como una alternativa práctica que permite decidir, por inspección visual del nivel del agua en un recipiente de plástico, el momento oportuno del riego. Retomando la ecuación simplificada del balance hídrico, se tiene la relación siguiente:

$$LAS(f) = LAS(i) + P + R - ETa \quad (7)$$

Después de aplicar un riego se repone la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) y el suelo alcanza su capacidad de campo, dando como resultado que la lámina de agua en el suelo después del riego es igual a LARA. Este mismo fenómeno puede ocurrir después de una lluvia fuerte.

$$LAS(i) = LARA \quad (8)$$

$$LAS(f) = LARA + P + R - ETa \quad (9)$$

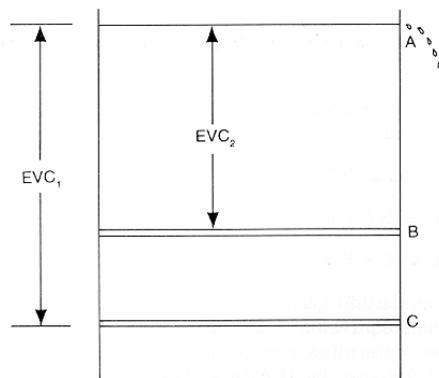
Con el transcurso del tiempo, la LARA disponible en el suelo se puede agotar y, por consiguiente, el valor de LAS(f) determinado por la ecuación del balance hídrico se acerca a cero, siendo necesario aplicar riego.

$$LAS(f) = 0 \quad (10)$$

La evaporación del tanque Clase A (USWB) se relaciona en forma estrecha con la evaporación registrada en un tanque plástico de forma cilíndrica y de color blanco, con 26 a 30 cm de diámetro y 35 a 40 cm de profundidad, que se conoce como tanque Cenirrómetro (Figura 4). La evaporación registrada en este tanque es superior en 9% a la obtenida en el tanque clase A y la relación entre ambas es lineal, con un coeficiente de determinación $r^2 = 0.99$ (Figura 5).

Cuando se emplea el tanque Cenirrómetro se involucran: (1) la edad del cultivo por medio del uso del valor de K para convertir la evaporación en evapotranspiración actual (ETa), y (2) la capacidad de almacenamiento de humedad en el suelo o lámina de agua rápidamente aprovechable. La efectividad de la precipitación está determinada por la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo en el momento de la lluvia.

El tanque Cenirrómetro define la máxima capacidad de almacenamiento de agua rápidamente aprovechable (LARA) mediante un orificio que drena el exceso de agua. El riego se programa cuando el nivel de agua en el tanque se aproxima a una de las dos marcas de referencia, que se usan, la inferior para controlar los



- A = Vertedero
- B = Marca de referencia para la aplicación de riego, entre 4 y 10 meses de edad del cultivo
- C = Marca de referencia para la aplicación de riego, hasta 4 meses de edad del cultivo

Figura 4. Esquema del tanque Cenirómetro desarrollado por CENICAÑA.

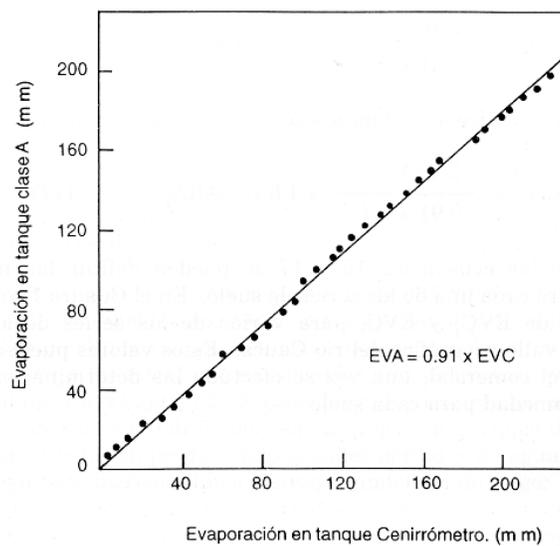


Figura 5. Relación entre la evaporación en tanque clase A y en el tanque Cenirómetro.

riegos durante los primeros 4 meses y la superior durante el período de 4 a 10 meses de crecimiento.

Para el cálculo de la distancia entre el orificio que sirve como vertedero de los excesos de agua y las marcas de control se utilizan las relaciones siguientes:

$$ETa = C \times EVC \quad (11)$$

$$ETa = EvA \times K \quad (12)$$

$$ETa = (C \times Evc) \times K \quad (13)$$

En donde, C es igual a 0.91 y convierte la evaporación del tanque Cenirrómetro (EVC) en evaporación equivalente del tanque clase A (EVA). El momento oportuno de riego se determina cuando la evapotranspiración acumulada es equivalente a la LARA disponible (LARA = ETa), de la forma siguiente:

$$LARA = Evc \times C \times K \quad (14)$$

$$EVC = \frac{LARA}{C \times K} = \frac{LARA}{0.91 \times K} \quad (15)$$

Si se tienen en cuenta los cambios de K y de la profundidad radical al pasar del período de macollamiento al de rápido crecimiento, se tiene:

Para el período entre 2 y 4 meses de crecimiento del cultivo:

$$EVC_1 = \frac{LARA_1}{0.91 \times 0.3} = 3.7 \times LARA_1 \quad (16)$$

Para el período entre 4 y 10 meses de crecimiento del cultivo:

$$EVC_2 = \frac{LARA_2}{0.91 \times 0.7} = 1.6 \times LARA_2 \quad (17)$$

A partir de las ecuaciones 16 y 17 se pueden definir las marcas del Cenirrómetro para cada una de las series de suelo. En el Cuadro 1 se presentan algunos valores de EVC₁ y EVC₂ para varias de las series de suelos más importantes del valle geográfico del río Cauca. Estos valores pueden servir de referencia a nivel comercial, una vez se efectúen las determinaciones de las constantes de humedad para cada suelo.

Drenajes

Ricardo Cruz V.*

Introducción

El drenaje agrícola se define como la evacuación del exceso de agua en el suelo. En el cultivo de la caña de azúcar, el drenaje es tan importante como el riego, ya que en forma conjunta mantienen en el suelo un ambiente propicio para obtener producciones óptimas de caña y azúcar. El exceso de humedad produce una reducción en el contenido de oxígeno en el suelo que disminuye la tasa de respiración de las raíces de la planta, la mineralización del nitrógeno, la absorción de agua y nutrientes, y propicia la formación de sustancias tóxicas. Si la planta de caña crece en estas condiciones durante un tiempo prolongado, especialmente durante el período de rápido crecimiento, se produce un retardo en su desarrollo vegetativo y, por ende, una disminución en la producción. Experimentos realizados en CENICAÑA muestran que la producción se puede reducir hasta en 35 t/ha, cuando el nivel freático se mantiene a una profundidad menor de 70 cm (CENICAÑA, 1991). Si la humedad excesiva ocurre durante las etapas de adecuación del terreno, la preparación y la siembra o la cosecha, estas labores sufren retraso ya que los suelos se compactan y el porcentaje de germinación se reduce, aumentando los costos por concepto de resiembras y, por consiguiente, los costos totales de producción.

En Colombia, la caña para producción de azúcar es un cultivo permanente que abarca 185,000 ha del valle geográfico del río Cauca con topografía plana y suelos, en su mayoría, con alta capacidad de retención de agua. En la región, las lluvias son abundantes de abril a mayo y de octubre a noviembre, siendo necesario aplicar riego durante el resto del año; la mecanización es intensiva, tanto para las labores de preparación y cultivo como para el manejo y transporte de la caña cosechada. Estas condiciones implican un alto riesgo de evacuación lenta del agua y de niveles freáticos altos que deben ser manejados mediante técnicas de drenaje.

En el valle geográfico del río Cauca, aproximadamente 15,000 ha cuentan con drenajes entubados, instalados entre 1.8 y 2.0 m de profundidad y distanciados entre 80 y 120 m. Sin embargo, en muchas ocasiones estos drenajes no han sido efectivos, debido a los estratos impermeables que se encuentran por encima de esta profundidad o a la baja conductividad hidráulica de los suelos. En otros casos, los campos han sido sobredrenados según el criterio erróneo de bajar el nivel freático hasta 1.5-1.8 m, produciendo grandes pérdidas de agua por percolación con el consiguiente incremento en los requerimientos de riego.

* Ricardo Cruz es Ingeniero Agrícola, MSc. en manejo de aguas, CENICAÑA, Apartado Aéreo 9138, Cali.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se presentan aquí varias metodologías para el reconocimiento, diagnóstico y solución de problemas de drenaje, basados en la experimentación realizada por CENICANA y los ingenios azucareros de la región.

Reconocimiento y Diagnóstico

El reconocimiento y diagnóstico de los problemas de drenaje agrícola comprende los estudios básicos sobre suelos, precipitación y aguas superficiales y subterráneas. Estos estudios incluyen la recolección de la información disponible sobre fotografías aéreas; mapas de suelos y planos topográficos; y datos de hidrología, clima, cultivos y producción de caña y azúcar.

En esta fase se deben determinar la extensión del área con problemas de drenaje y las causas de los excesos de agua, cuantificar las entradas y salidas de agua, la frecuencia y duración de las recargas y determinar la profundidad del nivel freático y su relación con la precipitación y los niveles de aguas superficiales cercanas. Además, es importante hacer observaciones en las áreas próximas al lote, ya que una recarga desde cuerpos de agua situados en las partes más altas, o un obstáculo localizado en la descarga aguas abajo, pueden causar problemas en el drenaje.

A nivel semidetallado, se recomienda que los planos topográficos tengan una escala 1:25,000; 1:10,000 ó menores, dependiendo del área, con curvas a nivel cada 25 cm y toma detallada de los niveles de fondo y de agua en canales, zanjas y otras estructuras. A nivel detallado, el proyecto incluye cálculos, costos y planos a escalas 1:10,000 a 1:2500 ó menores, según el caso.

Análisis de la Precipitación

El análisis de las lluvias en drenaje agrícola tiene como objetivo determinar la “lluvia de diseño”, con el fin de calcular la cantidad de agua que se debe evacuar. Para el efecto, se requiere información sobre las precipitaciones diarias a través de varios años, que permitan realizar un análisis de frecuencias y, con base en él, seleccionar lluvias con períodos de retorno de 5 años para drenaje superficial y de 1 año para drenaje subterráneo.

En el valle geográfico del río Cauca, la distribución de la precipitación, que ocurre entre abril y mayo y entre octubre y noviembre, es una de las causas más comunes de los excesos de agua en el suelo; por lo tanto, se recomienda realizar el análisis de frecuencias de lluvia máxima para estas épocas.

Frecuencia de precipitación

El análisis de las frecuencias de precipitación permite seleccionar la lluvia de diseño, utilizando uno de los métodos siguientes:

Drenajes

1. Frecuencias basadas en intervalos de láminas (grupos de lluvias). Se usa cuando se dispone de muchos datos. Para este análisis se debe proceder de la manera siguiente:
 - a. obtenga la información de lluvia diaria (en mm) para los meses más críticos durante cada año;
 - b. seleccione un intervalo apropiado de cantidad de lluvia, por ejemplo, cada 20 mm (0-20; 20-40 mm...) y determine los parámetros que se presentan en la Tabla 1;
 - c. cuente el número de observaciones en cada intervalo (m_i);
 - d. calcule la frecuencia (F) de ocurrencia de cada intervalo, así:

$$F_i (a_i < P \leq b_i) = \frac{m_i}{N}$$

donde:

a_i = límite inferior del intervalo
 b_i = límite superior del intervalo
 P = probabilidad de ocurrencia
 N = número total de datos de lluvia.

- e. calcule la frecuencia de excedencia $F (P > a_i)$ sobre un límite inferior (a_i) dentro de cada intervalo "i", contando el número " M_i " de todas las lluvias que exceden " a_i ":

$$F (P > a_i) = \frac{M_i}{N}$$

- f. calcule la frecuencia de no excedencia o frecuencia acumulada:

$$F (P \leq a_i) = 1 - F (P > a_i)$$

- g. calcule el período de retorno (T) para cada límite inferior de lluvia (a_i) como el inverso de la frecuencia de excedencia:

$$T_{a_i} = \frac{1}{F(P > a_i)}$$

2. Frecuencias basadas en un ordenamiento de láminas en forma decreciente (se usa cuando se tienen pocos datos). El procedimiento se describe a continuación:

- a. tabule, en orden decreciente, los datos de lluvia mensual y multianual (Tabla 2) o de lluvia máxima diaria multianual para el mes más crítico (Tabla 3), asignando un número de rango a cada valor (r);
- b. calcule la frecuencia de excedencia:

$$F(P > P_r) = \frac{r}{N+1}$$

c. calcule la frecuencia de no excedencia:

$$F(P \leq Pr) = 1 - F(P > Pr) = 1 - \frac{r}{N+1}$$

d. calcule el período de retorno (T) para cada lluvia:

$$T = \frac{1}{F(P > Pr)}$$

Tabla 1. Análisis de frecuencia con base en los intervalos de lámina de lluvia diaria.

Intervalo de lluvia (mm)		Observaciones (no.)	Frecuencia F(ai < P < bi)	Frecuencia de excedencia	Frecuencia acumulada	Período de retorno	
Inferior (ai)	Superior (bi)	ai < P < bi (mi)	(mi/N)	F(P > ai) (Mi/N)	F(P < ai) 1-F(P > ai)	Tai (días) = 1/(5)	Tai (años) = (7)/30
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)

Tabla 2. Distribución de frecuencia con base en el ordenamiento de láminas de lluvia mensual multianual.

Número de rango	Lluvia mensual decreciente		Año	F(P > Pr)	F(P < Pr)	T (años)
r	Pr	Pr		r/(n + 1)	1-F(P > Pr)	1/(5)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)

Drenajes

Tabla 3. **Distribución de frecuencia con base en el ordenamiento de láminas máximas de lluvia para 1 día por mes.**

Número de orden	Lluvia decreciente		Año	$F(P > Pr)$	$F(P < Pr)$	T (años)
r	Pr	P^2r		$r/(n + 1)$	$1 - F(P > Pr)$	1/5
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)

Se recomienda trabajar con distribuciones de frecuencias basadas en un ordenamiento decreciente de láminas de lluvia máxima de 1 día de duración por mes crítico, pero cuando no existen datos diarios se puede trabajar con láminas de lluvia mensuales.

Una vez que se ha realizado el análisis de lluvias, se selecciona la lluvia de diseño. Para drenaje superficial se escoge la lluvia correspondiente a un período de retorno de 5 años, y para drenaje subterráneo la precipitación máxima diaria con un período de retorno de 1 año.

Estudios Hidropedológicos

Para el estudio de la hidrología del suelo con fines de drenaje, se deben tener a disposición los mapas de clasificación de suelos con su respectiva descripción. A continuación se recolectan los datos hidrológicos y físicos hasta una profundidad de 4 m en el perfil del suelo.

Los estudios hidropedológicos se realizan con el objeto de conocer:

1. El área de ocurrencia de los excesos de agua y sus posibles causas, tanto a nivel superficial como subterráneo.
2. Las consecuencias económicas de los excesos de agua sobre las labores de preparación, siembra, cultivo, cosecha y la producción final.
3. Las áreas con condiciones desfavorables de suelo como salinidad, baja infiltración, compactación, baja conductividad hidráulica, etc.
4. Las propiedades del suelo que afectan el drenaje.
5. La topografía, la fisiografía y las facilidades para la evacuación del agua.

Para estos estudios es necesario disponer de la información siguiente:

1. descripción de los perfiles representativos que especifiquen para cada estrato: espesor, textura, estructura, color y moteado, presencia de carbonatos, estado de humedad, consistencia, porosidad, densidad de raíces y presencia de capas impermeables;
2. mapa de la textura del suelo entre 2 y 4 m de profundidad;
3. mapa de cotas de la parte superior del hidroapoyo o estrato de baja permeabilidad en el cual se apoya un acuífero libre;
4. mapa sobre localización, extensión y espesor de capas de arena gruesa o grava, ubicadas por encima o por debajo de la profundidad normal a la cual se instalarán los drenes;
5. mapa de salinidad de suelos;
6. mapas de isobatas e isohypsas. Las primeras son líneas que unen puntos de igual profundidad de nivel freático. Las isohypsas son líneas que unen puntos de igual cota de nivel freático;
7. mapa de fluctuación de la tabla de agua con base en las características hidromórficas del suelo, fenómeno gley o capas de color gris azulado que se presentan cuando el suelo se ha mantenido bajo el nivel freático durante un largo período de tiempo; y
8. mapa de conductividad hidráulica para capas por encima y por debajo de la profundidad de los drenes.

Medición de la Profundidad del Nivel Freático (Freatimetría)

El nivel freático (NF) lo constituye el nivel superior de las aguas subterráneas libres que tiene una presión igual a la presión atmosférica.

Para un tratamiento adecuado de problemas de drenaje subterráneo es necesario conocer la profundidad del nivel freático en el espacio y en el tiempo. Este conocimiento se puede lograr mediante lecturas periódicas de los niveles de agua en pozos de observación o baterías piezométricas. Un pozo de observación (Figura 1) puede ser un hoyo hasta una profundidad de importancia agronómica, entre 1.8 y 2.0 m; sin embargo, para asegurar las lecturas durante un largo período de tiempo y evitar la influencia directa de las lluvias o de la escorrentía sobre el nivel del agua en el pozo, se acostumbra instalar un tubo perforado de PVC o una manguera rígida de polietileno de 25 a 50 mm de diámetro, que se recubren con una malla obtenida a partir de los empaques sintéticos de fertilizantes comerciales.

Para conocer la situación del nivel freático en una zona, se requiere información de varios puntos, para lo cual se debe instalar una red de pozos de observación que cubra el área en estudio. La distribución de estos pozos se puede

Drenajes

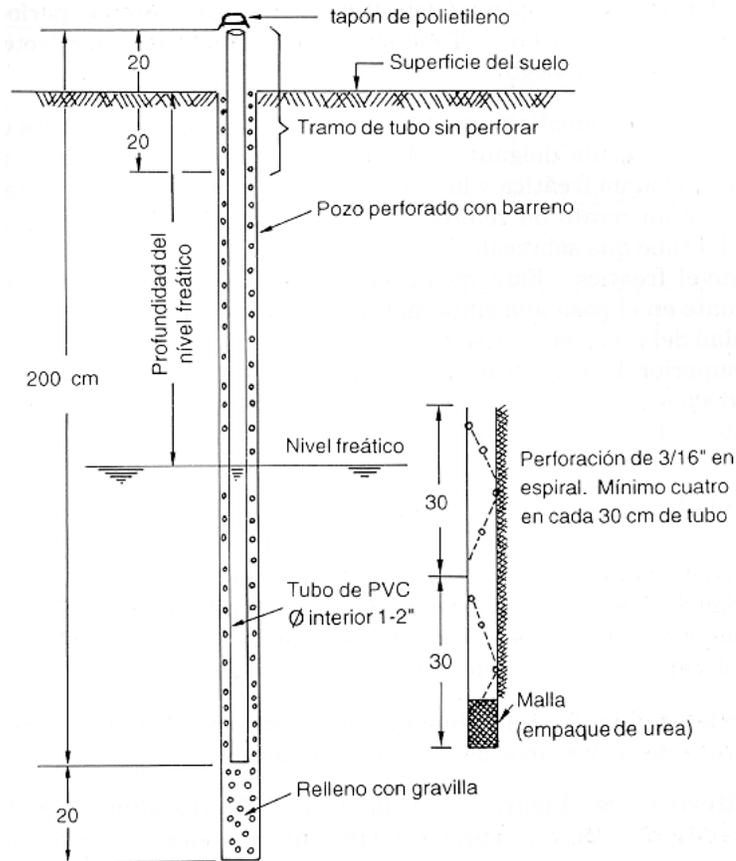


Figura 1. Diagrama de un pozo para observación del nivel freático.

hacer en forma sistemática en cuadrícula o rectángulo, o por concentración de puntos de acuerdo con las áreas críticas, colocándolos en sitios de fácil acceso y evitando que queden cercanos a canales, drenes, ríos, pozos de bombeo y caminos o vías de tránsito, para prevenir su destrucción u obturación.

El número de pozos de observación depende de los fines y de la precisión deseada. Como guía se puede tomar la siguiente:

Area (ha)	No. de pozos de observación
100	20
1,000	40
10,000	100

Las lecturas en los pozos se deben hacer cada 15 días en el período lluvioso y cada 30 en el período seco. También se recomienda efectuar lecturas de los niveles después de un riego.

La forma más sencilla para conocer el nivel de agua en los pozos consiste en introducir una varilla delgada y observar el límite entre la parte de ésta en contacto con el agua freática y la parte que no se humedeció. La distancia entre este límite y un punto de referencia en el borde superior del tubo, menos la longitud del tubo que sobresale de la superficie del suelo, determina la profundidad del nivel freático. Esta medición también se puede hacer introduciendo directamente en el pozo una cinta metálica de flexómetro. En todos los casos, la profundidad del nivel freático se toma con referencia a la superficie del suelo y no al borde superior del pozo de observación el cual, generalmente, sobresale varios centímetros por encima de la misma. Cuando se sospecha de la existencia de flujos ascendentes o de percolación, se recomienda instalar una batería de piezómetros.

Batería de piezómetros

Es un conjunto de tubos de 12 a 15 mm de diámetro que se usan para medir la presión del agua en un punto dentro del suelo y a partir de la cual se calcula la profundidad del NF. La selección del número y la profundidad de los piezómetros en cada batería se hace de acuerdo con las características del perfil del suelo. Se sugiere colocarlos por debajo del NF más profundo esperado.

Para determinar la profundidad y el número de piezómetros en cada batería, se deben considerar los tipos de acuíferos siguientes:

Acuífero libre (Figura 2). Cuando el NF está situado en un estrato permeable de gran espesor, su profundidad se puede medir con un solo piezómetro.

Acuífero semiconfinado (Figura 3). Cuando el NF está en un estrato semipermeable sobre un estrato permeable, es necesario instalar un piezómetro dentro de la capa permeable y dos más en el estrato confinante superior semipermeable.

Acuífero libre sobre acuífero semiconfinado (Figura 4). En este caso, se recomienda colocar dos piezómetros en el estrato permeable inferior confinado y un número igual en el estrato permeable superior.

La determinación del nivel freático por medio de una batería de piezómetros situada en un mismo estrato de suelo, se obtiene graficando la profundidad del piezómetro contra la presión observada y prolongando la línea de regresión hasta la presión igual a cero (Figura 5).

Hidrograma de Nivel Freático

Es un gráfico en el que se relaciona la profundidad del NF con el tiempo (Figura 6). En él se muestran las tasas de ascenso y descenso y los períodos críticos del NF en relación con el tiempo. En combinación con otros factores de balance

Drenajes

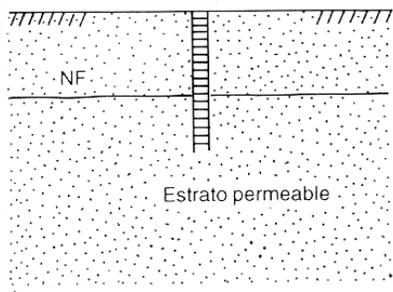


Figura 2. *Diagrama de un acuífero libre.*

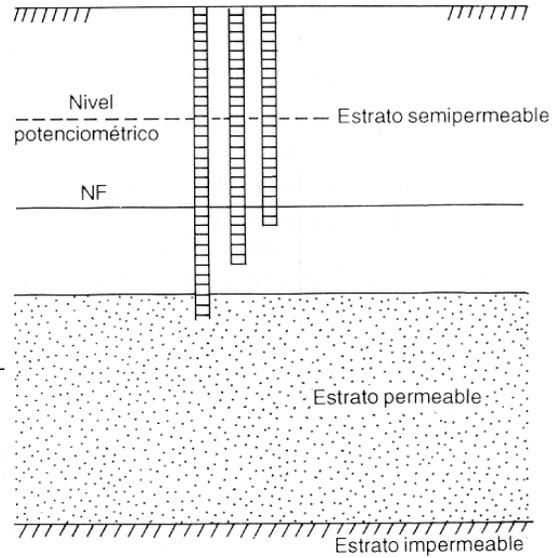


Figura 3. *Diagrama de un acuífero semiconfinado.*

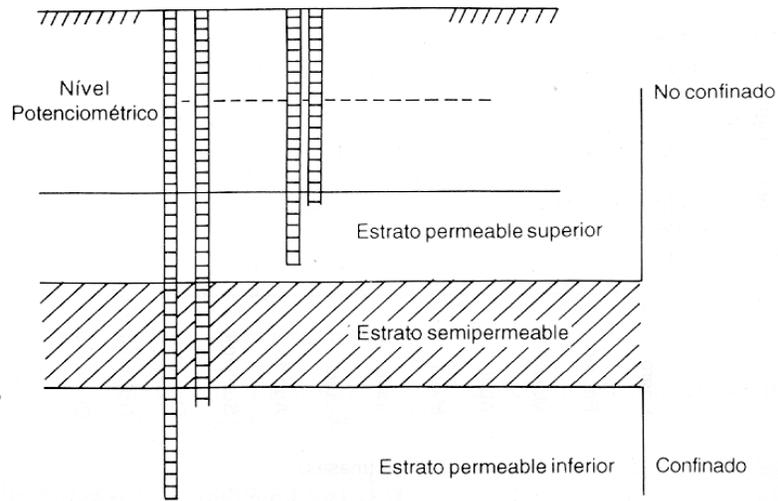


Figura 4. *Acuífero libre sobre acuífero semiconfinado.*

hidrológico (precipitación, riegos, bombeo de pozos, etc.) se puede utilizar para determinar las causas de las fluctuaciones en el NF.

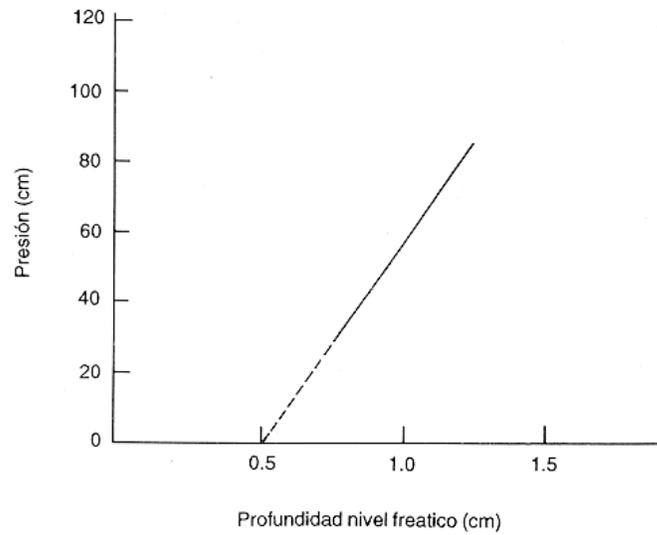


Figura 5. *Determinación de la profundidad del nivel freático utilizando batería de piezómetros en el mismo estrato.*

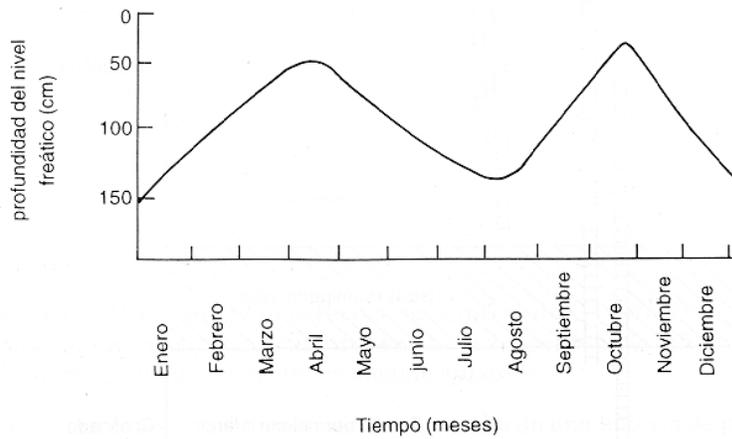


Figura 6. *Hidrograma de niveles freáticos en el valle geográfico del río Cauca, Colombia.*

Mapas de Agua Subterránea

Isohypsas

Son líneas que unen puntos de igual cota de nivel freático. Se puede trabajar con el promedio de isohypsas para un período largo, siendo suficientes dos planos

Drenajes

en el período lluvioso y uno en el período seco. A partir de estas líneas se puede determinar la dirección del flujo de agua subterránea, ya que éste es perpendicular a las líneas isohypsas.

Isobatas

Son líneas que unen puntos de igual profundidad en el nivel freático. Estos planos se elaboran para fechas de alta precipitación, con el objeto de delimitar las áreas críticas donde el NF puede afectar el cultivo. En caña de azúcar se recomienda levantar las curvas isobatas cada 25 cm hasta 2 m de profundidad.

Balance de Agua Subterránea

El balance de entrada y salida de agua que ocurre en el perfil del suelo, permite determinar las causas de un problema de drenaje subterráneo y la cantidad de agua que se debe evacuar a través del sistema de drenaje.

La ecuación de balance de agua en la zona no saturada es:

$$P + R - E - ET - \text{Perc.} + \text{Cap.} = \Delta S$$

donde:

- P = precipitación (mm)
- R = riego (mm)
- E = escorrentía superficial (mm)
- ET = evapotranspiración (mm)
- Perc. = percolación (mm) (agua que pasa de la zona no saturada del suelo hacia el nivel freático)
- Cap. = capilaridad (mm) (agua ascendente desde el nivel freático hacia la zona no saturada del suelo)
- ΔS = cambio en el contenido de agua del suelo (mm) en un período de tiempo determinado.

Percolación y ascenso capilar

Estos dos fenómenos no suceden en forma simultánea. La percolación normalmente ocurre durante la aplicación de riego y posteriormente por 2 a 5 días. El ascenso capilar se puede presentar durante el tiempo restante hasta la siguiente aplicación de riego. Las determinaciones de la percolación y la capilaridad dependen de las condiciones siguientes:

1. Durante el período lluvioso, la precipitación excede a la ET y el suelo permanece en capacidad de campo (CC) durante buena parte del tiempo, o

sea, que no hay cambio en el contenido de humedad del suelo ($\Delta S = 0$) y, por lo tanto, el ascenso capilar y la escorrentía son iguales a cero; en consecuencia:

$$\text{Percolación} = P - ET$$

2. Al principio de la estación lluviosa, el suelo aún no está en capacidad de campo, no ocurre percolación (Perc. = 0) y el ascenso capilar es muy pequeño (Cap. = 0), por tanto:

$$P - ET = \Delta S$$

3. Durante un período lluvioso corto, el suelo alcanza su capacidad de campo, la evapotranspiración es mínima, lo mismo que la escorrentía y el ascenso capilar, o sea:

$$\text{Perc.} = P$$

4. Durante el tiempo de riego se presentan pérdidas por percolación que se pueden estimar a partir de la evaluación hidráulica.

En cultivos de caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca, la situación más frecuente es la primera.

Conductividad Hidráulica (K)

La conductividad hidráulica (K) es un índice de permeabilidad que muestra la capacidad de movimiento de agua a través de los poros del suelo. Es un factor importante en el diseño de sistemas de drenaje y su medición se puede hacer por varios métodos de campo o de laboratorio. Si la tabla de agua o nivel freático se encuentra a poca profundidad (< 1 m), generalmente se usan métodos de bombeo dentro de un agujero. La conductividad hidráulica, con frecuencia, varía en forma amplia de un punto a otro en el campo, por lo cual se requieren varias mediciones para obtener valores representativos.

Los suelos arcillosos pueden presentar valores de conductividad hidráulica desde 0.01 hasta 30 m/día y los arenosos desde 0.1 m/día en adelante.

La conductividad hidráulica puede variar desde muy lenta hasta muy rápida, de acuerdo con los valores que aparecen en la Tabla 4. Una vez determinados estos valores, se deben representar sobre un plano y dibujar las líneas de igual conductividad.

Requerimientos de Drenaje

Los requerimientos o coeficientes de drenaje pueden ser para drenajes superficial o subterráneo.

Drenajes

Tabla 4. **Clasificación de la conductividad hidráulica (K).**

Clasificación	Rango de conductividad hidráulica (K) (m/día)
Muy lenta	< 0.03
Lenta	0.03 a 0.12
Moderadamente lenta	0.12 0.50
Moderada	0.50 1.50
Moderadamente rápida	1.50 3.00
Rápida	3.00 4.50
Muy rápida	> 4.50

Requerimiento para drenaje superficial

El drenaje superficial es equivalente al exceso de agua de escorrentía que se debe remover por unidad de tiempo. Se puede expresar mediante la ecuación siguiente:

$$Cd = \frac{E}{T_d}$$

donde:

Cd = coeficiente de drenaje superficial (lt/seg/ha)

E = escorrentía total expresada en términos de lámina (mm)

T_d = tiempo de drenaje, en horas. Es el tiempo que el cultivo de caña de azúcar puede soportar bajo inundación sin disminuir su producción en forma significativa y varía entre 2 y 4 días, así: T_d = 2 días para plantaciones hasta de 2 meses y T_d = 4 a 7 días para plantaciones de 4 meses o más.

El coeficiente de drenaje superficial (Cd) se puede también expresar como caudal por unidad de área:

$$Cd = \frac{2.78 E}{T_d} \quad \frac{(lt/s)}{(ha)}$$

Escorrentía total (E). Se puede determinar mediante el balance hídrico, de acuerdo con la relación siguiente:

$$E = P - I - ET$$

donde:

- E = escorrentía total
- P = lluvia de diseño obtenida por medio del análisis de frecuencias para un período de retorno de 5 años y una duración equivalente al tiempo de drenaje (t_d)
- I = infiltración total durante el tiempo de drenaje
- ET = evapotranspiración durante el mismo período de tiempo.

Requerimiento de drenaje subterráneo

En el drenaje subterráneo se deben tener en cuenta: (1) la profundidad mínima a la cual se debe ubicar el NF para que no cause disminución en la producción de caña, y (2) la cantidad de agua por unidad de tiempo que se debe evacuar mediante este sistema.

Cuando el nivel freático permanece a una misma profundidad o varía poco durante períodos de tiempo relativamente largos, debido principalmente a la precipitación, el sistema de drenaje se debe diseñar aplicando el modelo de flujo permanente.

En los casos cuando el nivel freático se eleva en forma brusca por efecto de una lluvia o riego, pero luego desciende, se aplica otro criterio de drenaje definido por la profundidad hasta la cual se debe abatir dicho nivel en un período de tiempo determinado. Este modelo se denomina flujo no permanente.

De acuerdo con las investigaciones conjuntas de CENICANÑA y los ingenios azucareros, es posible concluir que un nivel freático entre 1.0 y 1.2 m de profundidad es adecuado para el desarrollo y producción del cultivo de la caña de azúcar (CENICANÑA, 1992). En otras palabras, si es necesario instalar drenaje para abatir el nivel freático, la profundidad de abatimiento debe ser de 1.0 m para obtener un aporte de agua por capilaridad y disminuir, de esta manera, los requerimientos de riego, siempre y cuando la calidad del agua subterránea sea buena.

Para el modelo de flujo permanente, la cantidad de agua por unidad de tiempo que se debe descargar por medio del drenaje subterráneo, es igual a la percolación profunda calculada mediante el balance de agua en el suelo, que para el valle geográfico del río Cauca en época lluviosa, se puede expresar como:

$$\text{Perc.} = P - ET$$

donde:

- Perc. = percolación profunda
- P = precipitación máxima diaria con período de retorno de 1 año
- ET = evapotranspiración

Métodos de Drenaje

Una vez identificado el problema de drenaje mediante los estudios básicos de reconocimiento y diagnóstico, se selecciona el método o sistema de drenaje, que puede ser superficial o subterráneo (interno).

Un sistema de drenaje consta de drenes laterales, colectores y principales. Los laterales, denominados también drenes parcelarios, mantienen el nivel freático a la profundidad deseada y recogen el agua de escorrentía para conducirla hasta los colectores que, a su vez, la conducen hasta los drenes principales que la evacúan fuera del área.

Drenaje superficial

El drenaje superficial consiste en la remoción del agua acumulada sobre la superficie del terreno a causa de lluvias intensas y frecuentes, desbordamiento de cauces, topografía plana e irregular y suelos con baja capacidad de infiltración. Dependiendo del origen de los excesos de agua, para su control se puede escoger una o varias de las formas de drenaje superficial siguientes:

Para controlar las inundaciones. Se recomienda la construcción de diques paralelos a los cauces para evitar su desbordamiento.

Para controlar las aguas de escorrentía. Da buen resultado la construcción de canales interceptores o diques perimetrales para regular el agua proveniente de áreas adyacentes.

Red de drenaje superficial local. Consta de canales principales, secundarios y colectores, que se construyen dentro del área problema y tienen capacidad para remover el agua superficial en un lapso de 4 a 7 días.

También es posible facilitar el drenaje de los lotes mediante la nivelación, con el objeto de conformar una pendiente uniforme.

Drenaje subterráneo

En caña de azúcar, el drenaje subterráneo es necesario cuando las áreas presentan niveles freáticos permanentes a profundidades menores de 1.0 m durante la etapa de rápido crecimiento del cultivo (después de 4 meses de edad). Sin embargo, el sistema de drenaje que se instale no debe producir el abatimiento del nivel freático a más de 1.20 m, con el fin de aprovechar el aporte de agua por capilaridad que permite reducir en forma significativa los requerimientos de riego. Esto explica el por qué se recomienda utilizar el concepto de manejo del nivel freático conjuntamente con el riego. Lo anterior se cumple cuando las aguas freáticas son de buena calidad; en caso contrario, para evitar riesgos de salinización, el nivel freático se debe abatir, al menos, hasta 1.50 ó 1.80 m de profundidad en el suelo.

Los métodos de drenaje interno utilizados para abatir el nivel freático directamente en las parcelas, se clasifican en: (1) drenes abiertos o zanjas, (2) drenes topo o conductos cerrados no revestidos, y (3) drenes entubados con PVC, arcilla o cemento.

Drenes abiertos. Son canales abiertos y profundos con alta capacidad que se pueden utilizar para conducir aguas subterráneas o de escorrentía. Requieren una pendiente entre 0.015% y 0.4%, o sea, menor que la de los drenes enterrados que tienen entre 0.1% y 1.0%.

Los drenes abiertos tienen algunas desventajas, ya que ocupan un área que podría aprovecharse para cultivo; los taludes son susceptibles a la erosión; por lo tanto, requieren obras de protección que son costosas y su mantenimiento debe ser estricto para evitar la invasión de malezas o el exceso de sedimentos que les restan capacidad de evacuación.

En áreas planas normalmente es preferible usar tubos como drenes laterales y zanjas como colectores, mientras que en áreas con pendiente los laterales y los colectores se pueden construir con tubería enterrada para incrementar el área efectiva de cultivo.

En caña de azúcar, el espaciamiento entre los colectores puede variar entre 300 y 500 m y se determina de acuerdo con el tamaño de la parcela y la longitud máxima de los drenes subterráneos. La profundidad de estos drenes debe permitir un salto de agua en el punto de descarga de los laterales; por lo tanto, se deben construir entre 40 y 50 cm por debajo de los desagües de estos últimos. Con frecuencia, los drenes colectores se localizan de tal forma que sirvan como linderos entre fincas, y de acuerdo con la topografía se ubican en las partes más bajas tratando, en lo posible, que queden en línea recta.

Drenes topo. Son conductos subterráneos no revestidos que se construyen sin necesidad de excavaciones y ayudan a la evacuación del exceso de agua de los estratos superiores del suelo. Este tipo de drenaje es apropiado en áreas con suelos arcillosos, de alta densidad aparente, poco permeables y con una pendiente general mayor de 0.4%.

La construcción de este tipo de drenes requiere suelos estables y de alta plasticidad, con un mínimo de 35% de arcilla y un máximo de arena de 20%, y que al momento de la labor el contenido de humedad en el suelo se encuentre entre 40% y 80% de su capacidad de retención. Las fisuras que se producen cada vez que se renuevan los drenajes topo crean gradualmente una mejor estructura del suelo y aumentan su permeabilidad.

El espaciamiento entre estos drenes debe ser de 2 a 5 m, la profundidad de 50 a 60 cm, la pendiente de 0.4% a 4%, la longitud máxima de 150 m y se deben entubar en los 2 ó 3 m finales para que la descarga sea libre y el colector no se deteriore.

Drenajes

Drenes entubados. El drenaje subterráneo en caña de azúcar se compone de varias líneas de tubería, que se instalan a una profundidad entre 1.5 y 2.0 m, con el fin de abatir el nivel freático y mantenerlo a una profundidad entre 1.0 y 1.20 m de la superficie del suelo.

Para la construcción de estos drenes se utiliza actualmente tubería de PVC corrugada y perforada, con diámetros de 65, 80, 100 y 150 mm, que se encuentra disponible en el mercado en rollos de 100 a 200 m. Esta tubería tiene alta resistencia y es fácil de instalar sobre una cama de grava fina de 10 cm de espesor con una capa de 20 cm del mismo material filtrante.

Espaciamiento entre drenes entubados. Para el cálculo del espaciamiento entre drenes entubados existen varias fórmulas, entre ellas las más utilizadas son la de Hooghoudt y la de Glover Dumm.

La ecuación de Hooghoudt requiere que el nivel freático se mantenga a una profundidad casi constante durante largos períodos de tiempo y que el perfil del suelo tenga dos estratos principales de diferente conductividad hidráulica, con los drenes situados cerca o en el límite de ambos estratos, como se observa en la Figura 7.

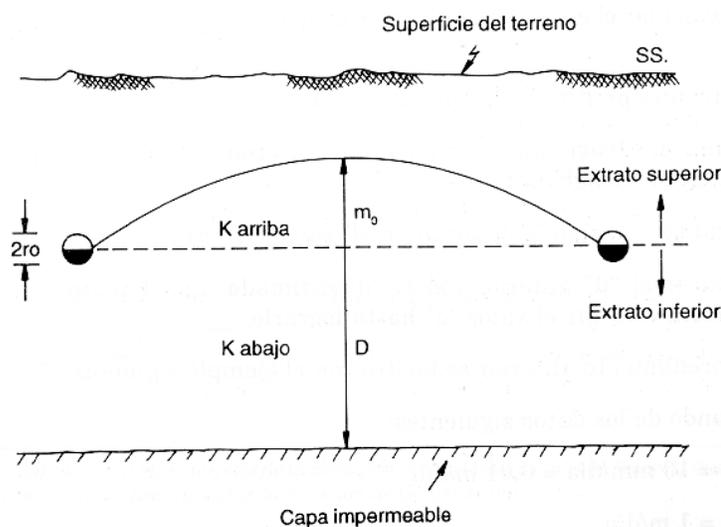


Figura 7. Drenes entubados paralelos en suelos con una capa impermeable a profundidad limitada.

— La ecuación de Hooghoudt es la siguiente:

$$L^2 = \frac{8 K \text{ abajo} \cdot d \cdot m_0 + 4 K \text{ arriba} \cdot m_0^2}{q}$$

donde:

- L = espaciamiento entre drenes entubados (m)
- K abajo = conductividad hidráulica por debajo del nivel de los drenes (m/d)
- K arriba = conductividad hidráulica arriba del nivel de los drenes (m/d)
- m_o = altura desde el nivel de los drenes hasta el nivel freático, en el punto medio entre éstos (m)
- q = cantidad de agua que deben evacuar los drenes (m/día)
- d = profundidad equivalente de Hooghoudt (m), en función del espaciamiento (L), el radio del tubo (r_o) y la altura desde los drenes hasta la capa impermeable sobre la cual se apoya el acuífero (D).

Cuando los drenes se instalan sobre una zanja excavada, el valor de r_o será igual al perímetro mojado del canal dividido entre π

Para calcular el espaciamiento entre drenes (L), se sugiere el procedimiento siguiente:

1. Asumir una profundidad equivalente (d).
2. Calcular el espaciamiento entre drenes (L) con “d” estimado, utilizando la ecuación de Hooghoudt.
3. Utilizando la Tabla 5, determinar “d” con el “L” calculado.
4. Comparar el “d” anterior con el “d” estimado inicialmente. Si éstos no coinciden, corregir el valor “d” hasta lograrlo.

El procedimiento anterior se ilustra con el ejemplo siguiente:

Partiendo de los datos siguientes:

$$q = 10 \text{ mm/día} = 0.01 \text{ m/día}$$

$$K = 1 \text{ m/día}$$

$$D = 5 \text{ m}$$

$$m_o = 0.50 \text{ m}$$

$$r_o = 0.04 \text{ m}$$

Calcular el espaciamiento (L) entre drenes entubados.

1. Se asume el valor para la profundidad equivalente (d), d = 4 m;

Drenajes

2. Se calcula el valor L:

$$L^2 = (8 \times 1 \times 4 \times 0.5 + 4 \times 1 \times 0.5 \times 0.5) / 0.01 = 1700$$

$$L = 41 \text{ m}$$

3. De acuerdo con la Tabla 5, se determina el valor $d = 2.35$, el cual es diferente al que se estima inicialmente.

4. Se estima un nuevo valor, $d = 2$ m. Se calcula de nuevo $L = 30$ m, a partir de la Tabla 5, $d = 2.01$ m que es prácticamente igual al estimado.

En este caso, el espaciamiento (L) calculado es de 30 m.

— La ecuación de Glover-Dumm se aplica cuando el problema de drenaje interno se asimila a un modelo de flujo no permanente, en el cual el nivel freático se eleva repentinamente por efecto de recargas fuertes, por ejemplo, lluvias intensas seguidas de un período seco (Figura 8).

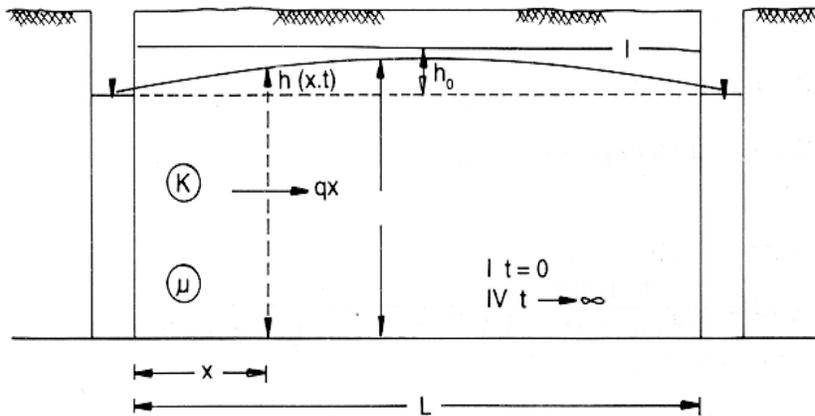


Figura 8. Situación antes y después de la elevación instantánea de la capa freática (modelo de flujo no permanente para usar la ecuación de Glover-Dumm).

Situación en la cual el espaciamiento entre drenes se determina mediante la fórmula siguiente:

$$L^2 = \frac{\pi^2 Kdt}{U \ln(1.17 h_0/ht)}$$

donde:

L = espaciamiento entre drenes (m)

K = conductividad hidráulica (m/día)

- d = profundidad equivalente de Hooghoudt (m)
- t = tiempo (días) requerido para que descienda el nivel freático. En caña de azúcar, el tiempo requerido para que el nivel freático descienda 0.5 m a partir de la superficie del suelo es de 4 días
- U = coeficiente de almacenamiento o porosidad drenable, expresada en fracción decimal (U = porosidad total - capacidad de campo)
- Ln = Logaritmo natural
- h_o = altura desde el nivel de los drenes hasta el nivel freático cuando éste se eleva casi instantáneamente por efecto de la lluvia o el riego (m)
- h_t = altura desde el nivel de los drenes hasta el nivel freático cuando éste ha descendido totalmente por efecto de los drenes (m).

Ejemplo del cálculo de espaciamiento entre drenes, utilizando la ecuación de Glover-Dumm y partiendo de los valores siguientes:

- K = 1 m/d; profundidad de drenes = 1.8 m
- h_o = 0.8 m; h_t = 0.3 m
- D = 8.0 m
- U = 0.05 ; t = 10 días, r_o = 0.1 m

$$L^2 = \frac{\pi^2 K d t}{U \text{Ln} (1.17 h_o/h_t)} = \frac{\pi^2 \cdot 1 \cdot d \cdot 10}{0.05 \text{Ln} (1.17 \times 2.67)} = 1734.81d$$

$$L = 41.65 (d)^{1/2}$$

1. Primer tanteo: L = 80 m, utilizando la Tabla 5,

$$\frac{L}{r_o} = \frac{80}{0.1} = 800 ; \frac{D}{r_o} = \frac{8}{0.1} = 80 \quad \delta = 45.2$$

$$d = 4.52$$

$$L = 41.65 \times (4.52)^{1/2} = 88.55 \text{ m}$$

2. Segundo tanteo: L = 90 m, utilizando la Tabla 5,

Drenajes

$$\frac{L}{r_o} = 900; \frac{D}{r_o} = 80 \quad \delta = 47.4 \quad d = 4.74$$

$L = 41.65 \times (4.74)^{1/2} = 90.60$, que es prácticamente igual al propuesto.

Capacidad de descarga de tuberías de drenaje subterráneo

- Bajo régimen de flujo permanente:

$$Q = q \cdot L \cdot M / 86,400$$

donde:

- Q = caudal de descarga de los drenes entubados (m³/seg)
- q = lámina de agua que debe ser evacuada por los drenes (mm/día)
- L = espaciamiento entre drenes (m)
- M = longitud de los drenes (m)

- Bajo régimen de flujo variable:

$$Q = \frac{0.073 KD'}{L} h_o \cdot M$$

donde:

- Q = caudal en l/seg
- K = conductividad hidráulica (m/día)
- $D' = d + \frac{h_o + h_t}{2}$
- d = profundidad equivalente de Hooghoudt
- h_o = altura del nivel freático en relación con el nivel de los drenes, después de la lluvia crítica (m)
- h_t = altura del nivel freático sobre el nivel de los drenes después de un tiempo t (m)
- L = espaciamiento entre drenes (m)
- M = longitud del dren (m)

Referencias

- ASOCIA (Asociación de Ingenieros Agrícolas del Valle del Cauca). 1988. Cálculos de espaciamiento entre drenes y sistemas de drenaje interno. En: Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Universidad Nacional de Colombia, Corporación del Valle del Cauca (CVC) p. 196-249.
- CENICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). 1991. Efecto del nivel freático en la producción. En: Informe Anual 1991. p. 32-33.
- ILRI (International Institute for Land Reclamation and Improvement). 1974. Drainage principles and applications. Wageningen, Holanda. Publication no. 16:1-4.
- Rojas, R. 1976. Drenaje superficial de tierras agrícolas. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT), Venezuela.

Insectos Asociados con la Caña de Azúcar en Colombia

Luis Antonio Gómez L. y Luz Adriana Lastra B.*

Introducción

Cuando un técnico o profesional necesita resolver una situación de carácter entomológico, se encuentra con dos dificultades principales; por un lado, reunir la mayor información posible sobre el problema que le interesa y, por otro, discernir que tipo de información es la que más le sirve para proponer, en primera instancia, alternativas para el manejo dicho problema.

La información acerca de los insectos plaga que atacan la caña de azúcar es abundante, ya que es éste es un cultivo de amplia distribución en las zonas tropicales y subtropicales. Box (1950) reportó, a nivel mundial, alrededor de 1300 especies de insectos que se alimentan de caña.

En el caso específico de Colombia, existen plagas que son comunes a otros países de América, como *Diatraea saccharalis* (F.), acerca de la cual hay información útil, que se debe aprovechar. No obstante, algunas especies tienen características específicas para la zona cañera de Colombia; por ejemplo, el área de distribución de *D. indigenella* Dyar & Heinrich, plaga que ha venido desplazando a *D. saccharalis*, se reduce a parte del occidente colombiano y no se encuentra en otros países, por lo tanto, su manejo depende de las experiencias locales. Una situación parecida ocurre con las plagas potenciales, como el barrenador gigante de la caña (*Castnia sp.*), que se encuentra en algunas zonas paneleras colombianas, pero no en el área azucarera propiamente dicha; este insecto es de importancia económica en Panamá y Brasil.

Además de la distribución geográfica, las plagas presentan algunas características asociadas con la temporalidad. El pulgón amarillo, por ejemplo, aunque normalmente presenta bajas poblaciones en el Valle del Cauca, tuvo un brote sorpresivo en 1988, que causó pérdidas económicas importantes y obligó a utilizar medidas masivas de control. Este insecto, que se consideraba como secundario y sin importancia, pasó, en unas pocas semanas, a ser la plaga más importante durante ese año.

El propósito de este capítulo es reunir las experiencias en el manejo de las principales plagas de la caña de azúcar, tanto a nivel mundial como nacional. Para el efecto, fue necesario actualizar la información y reunir los elementos que

* Luis Antonio Gómez es Ingeniero Agrónomo, Ph.D. Luz Adriana Lastra es Bióloga y Entomóloga. CENICAÑA, Apartado Aéreo 9138, Cali, Valle del Cauca, Colombia.

permitan a un técnico, en un momento dado, identificar en forma segura los insectos que se encuentran afectando este cultivo.

Como fuentes de consulta complementarias se recomiendan: el libro *Pests of Sugar Cane* (Williams et al., 1969), y el artículo *Insect Pest of Sugar Cane* (Longs y Hensley, 1972), que aparecen citados en las referencias al final del presente capítulo.

La Caña de Azúcar en Colombia

En Colombia, la caña de azúcar se siembra para la obtención de azúcar o para la elaboración de panela. En el primer caso, el área azucarera se concentra, aproximadamente, en 185,000 ha localizadas, casi en su totalidad, en el valle geográfico del río Cauca, donde existen ventajas comparativas para el desarrollo de este cultivo (CENICAÑA, 1992). La producción y el manejo del cultivo se caracterizan en esta región por el empleo de grandes extensiones de tierra y el uso de tecnologías desarrolladas. Esta condición ha favorecido la obtención de altos tonelajes de caña a través del año y, por tanto, la presencia de plantaciones en todos los estados de desarrollo, en contraste con lo que ocurre en la mayoría de los países productores de caña, donde hay meses definidos para la siembra y para la cosecha (zafra).

Lo anterior confiere a este cultivo el carácter de permanente en Colombia, con la presencia en forma continua de ciclos superpuestos de las diferentes plagas y, a su vez, de los enemigos naturales de éstas. En consecuencia, las decisiones técnicas afectan un área apreciable y tienen efectos a nivel regional que pueden extenderse por un tiempo más o menos prolongado. La dimensión del área involucrada determina la magnitud, tanto de la inversión económica para el manejo del cultivo como la de los beneficios, siendo estos últimos importantes para la orientación de las políticas sobre el manejo de plagas en la caña de azúcar.

El área cultivada en caña para la producción de panela es, aproximadamente, de 500,000 ha distribuidas en fincas de pequeños propietarios por todo el territorio colombiano. En su gran mayoría, la caña panelera se establece en suelos de ladera, lo cual limita su manejo técnico. No obstante, este cultivo, al igual que el de caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca, tiene carácter de permanente, si se tienen en cuenta la presencia de los ciclos largos de desarrollo y las cosechas selectivas de los lotes (entresaque).

Insectos Nocivos a la Caña de Azúcar

La clave que se presenta a continuación sirve para la identificación de las principales plagas de la caña de azúcar en Colombia. Esta clave se hizo especialmente para los insectos que eventualmente alcanzan niveles altos de población, lo mismo que para aquéllos que sin ser abundantes en nuestro medio, han ocasionado daños económicos en países cercanos. Se utilizan elementos de identificación lo más distintivos posibles, ya sean de tipo morfológico o a nivel de

sintomatología de daño. Es posible que para situaciones complejas, sea necesario consultar la bibliografía específica (Guagliumi, 1962).

Clave para la identificación de los insectos más comunes

Insectos que afectan la germinación

1. Los tallos que germinan tienen una apariencia normal. Al desenterrar la semilla se observan yemas dañadas y galerías dentro de la semilla 2
- 1'. Los tallos que germinan muestran síntomas de deficiencia de agua 3
2. Galerías internas grandes asociadas con pedazos semidestruidos de fibra. Presencia de larvas carentes de patas, de pupas encerradas dentro de una cámara pupal conformada por pedazos de fibra, o bien restos de la cámara pupal (Figura 1)..... **Picudos**
- 2'. Galerías más pequeñas que en el caso anterior, asociadas con orificios de entrada o de salida localizados en las paredes laterales de la semilla.
Insecto ausente..... ***Diatraea, Valentia***
3. Sistema radical de la semilla muy pobre. Presencia de larvas en forma de “C” con patas bien visibles, dentro o cerca de la semilla. Ataques esporádicos y localizados **Chizas**
- 3'. Galerías dentro de la semilla con la presencia, en la mayoría de los casos, de individuos con apariencia de «hormigas blancas». Generalmente en áreas cálidas (Figura 2)..... **Comején**

Insectos que causan “corazones muertos”

(muerte de las hojas del cogollo en desarrollo) (Figura 3):

1. Ausencia del orificio de entrada del insecto. Galería en la base del tallo con un diámetro superior a 1 cm. Larvas blancas, grandes, de apariencia segmentada, difíciles de encontrar (Figura 4). Detectadas sólo en ciertas áreas paneleras..... ***Castnia***
- 1'. Presencia de un orificio de entrada del insecto causante del daño 2
2. El daño se presenta durante el primer mes de germinación, especialmente en épocas de sequía. Las larvas miden menos de 1.5 cm (Figura 5), muy nerviosas, ágiles, y se encuentran dentro del suelo cerca de la cepa, rara vez dentro del tallo afectado..... ***Elasmopalpus lignosellus***
- 2'. El daño ocurre más tarde que en el caso anterior, y la larva se encuentra con frecuencia dentro del tallo afectado ***Diatraea***



1



2



3



4



5



6

Figuras 1 a 6. 1. Daño por la larva de *Matemasius hemipterus*. 2. Daño por comején. 3. Daño "corazón muerto". 4. Daño por larva de *Castnia sp.* 5. Larva de *Elasmopalpus lignosellus*. 6. Larva de *Caligo ilioneus*.

Insectos defoliadores:

1. Presencia de hojas con daños por el consumo de insectos, generalmente en plantaciones mayores de 4 meses. Larvas con dos “cuernos” característicos en la cabeza (Figura 6)..... **Gusano cabrito**
- 1'. El daño se presenta en plantaciones menores de 4 meses. Las larvas pueden consumir los brotes en desarrollo. Se presenta en lotes donde la maleza se ha controlado recientemente..... **Spodoptera sp. y Mocis sp.**

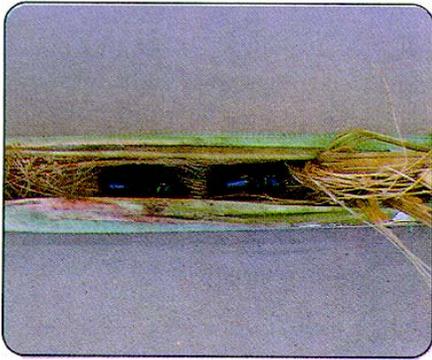
Insectos barrenadores del tallo:

1. Tallos sin orificios visibles de entrada del insecto, galería en la base del tallo con un diámetro superior a 1 cm **Castnia**
- 1'. Tallos con orificios de entrada del insecto 2
2. Grandes orificios de entrada del insecto, rodeados de trozos de fibra; generalmente dentro de la galería se encuentran dos cucarrones negros, grandes y lustrosos. El daño se presenta en plantaciones menores de 8 meses (Figura 7)..... **Cucarrón de invierno**
- 2'. Orificios de entrada diferentes a los anteriores 3
3. Galerías sin partículas de fibra semidestruidas, a veces, se encuentra una larva típica de lepidóptero (Figuras 8 y 9)..... **Diatraea, Valentinia**
- 3'. Situación similar a la anterior, pero se encuentran pedazos de fibra semidestruida, claramente distinguibles. Presencia de larvas sin patas, o de pupas encerradas dentro de una cámara conformada por trozos de fibra **Picudos**

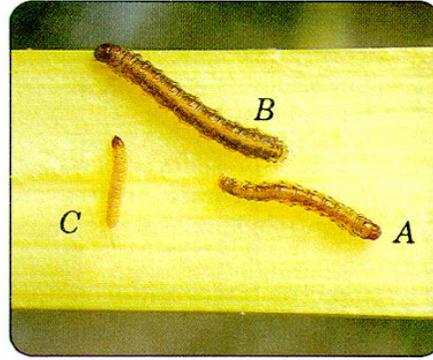
Insectos que no penetran en los tejidos internos de la planta (insectos chupadores²):

1. Insectos poco móviles que forman colonias 2
- 1'. Insectos que no forman colonias 4
2. Insectos que se localizan sobre los nudos de los tallos, protegidos por la vaina de las hojas. Individuos de color rosado, recubiertos de una secreción blanca algodonosa (Figura 10)..... **Piojo harinoso**
- 2'. Individuos generalmente localizados en el envés de las hojas 3
3. Insectos de cuerpo aplanado y espinoso cuando no tienen alas; cuando las tienen, son reticuladas y parecidas a encaje **Chinches de encaje**

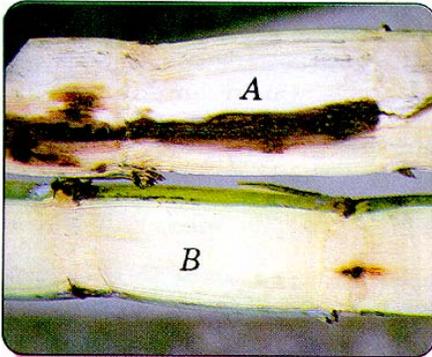
2. Poseen un pico que los caracteriza como de hábito alimenticio chupador.



7



8



9



10



11



12

Figuras 7 a 12. 7. Adulto y daño por *Podischus agenor*. 8. Larvas de barrenadores (A) *Diatraea saccharalis*, (B) *D. Indigenella*, (C) *Valentina sp.* 9. Daño por *Diatraea sp.* (A) y *Valentina sp.* (B). 10. Colonia de *Sachariccocus sacchari*. 11. Colonia de *Sipha flava*. 12. Colonia de *Melanaphis sacchari*.

Insectos Asociados...

- 3'. Individuos de cuerpo globoso, la mayoría sin alas. Las alas, cuando están presentes, son diferentes a las mencionadas en el caso anterior (Figuras 11 y 12)..... **Pulgon**
4. Adultos de color oscuro que permanecen protegidos en el cartucho que forma el cogollo y brincan rápidamente al ser perturbados (Figura 13). Los estados inmaduros se localizan en la base de los tallos o sobre las hojas y se recubren de un líquido muscilaginoso y espumoso, del cual derivan su nombre común (Figura 14). Los lotes atacados aparentan carencia de agua y terminan por secarse..... **Salivazo o mión**
- 4'. Insectos diferentes a los descritos anteriormente 5
5. Individuos inmóviles adheridos a la superficie de las hojas (Figura 15), las cuales se tornan amarillas en condiciones de alta infestación. Las hojas bajas aparecen recubiertas con fumagina. Asociados con la presencia de hormigas..... **Escamas**
- 5'. Individuos muy móviles asociados con la presencia de fumagina en condiciones de alta infestación 6
6. Insectos localizados en la parte basal del tallo. Tanto las ninfas como los adultos son muy móviles y se esconden detrás de los tallos. Aparentan tener cuernos, debido a la forma y posición de las antenas (Figura 16). **Saltahoja hawaiano**
- 6'. Insectos localizados sobre las hojas. Estados inmaduros con un mechón de pelos blancos en su parte posterior, y visible a simple vista **Saltahoja antillano**

Insectos que Afectan la Germinación

La semilla vegetativa al momento de la siembra puede presentar daño por *Diatraea* spp. y/o *Valentinia* sp., o estar infestado por picudos. Después de la siembra puede ser atacada por comején o chizas.

Diatraea spp. y *Valentinia* sp.

En el valle geográfico del río Cauca se presentan ocasionalmente semilleros con un alto número de yemas atacadas por estos insectos; cuando esto ocurre, el daño se asocia con una proliferación de raíces en los nudos de los tallos. Las yemas destruidas no dan origen a una nueva planta y, por consiguiente, es necesario determinar el porcentaje de éstas que se encuentra afectado y hacer una corrección para lograr la densidad deseada por unidad de área.

Existen criterios para rechazar semilleros con niveles muy altos de daño por barrenadores (Escobar y Raigosa, 1982). En los semilleros moderadamente afectados, la mayor proliferación de tallos derivados de las yemas que germinan normalmente, compensa la pérdida de yemas destruidas por estos insectos. En



13



14



15



16



17



18



19

- Figuras 13 a 19. 13. *Adulto de Aeneolamia sp.*
14. *Niña de Aeneolamia sp.*
15. *Colonia de Pulvinaria sp.*
16. *Adulto de Perkinsiella saccharicida*
17. *Adulto de la mosca parásita Paratheresia claripalpis.*
18. *Adulto de la mosca parásita Metagonistylum minense.*
19. *Adulto de la mosca parásita Jaynesleskia jaynesi.*

condiciones de alta infestación, el daño puede ocasionar una reducción significativa en la germinación, especialmente durante los primeros 4 meses de desarrollo del cultivo, sin embargo, ésta tiende a equilibrarse posteriormente. Aunque en algunas variedades, este efecto puede mantenerse hasta el punto de reducir el tonelaje de caña (CENICANA, 1989).

Picudos de la semilla

Las especies de picudos predominantes en el valle geográfico del río Cauca y que atacan la caña de azúcar son *Metamasius hemipterus* L. y *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae). Las hembras de estos insectos ovipositan en el material vegetativo que se corta para siembra y permanece a la intemperie por algún tiempo. De esta forma, los trozos se siembran infestados y los insectos destruyen gran parte de la semilla, debilitando los brotes en formación.

Aunque en algunas regiones de América tropical, *M. hemipterus* ha sido reportado como una plaga de mayor importancia económica que *R. palmarum*, en el valle geográfico del río Cauca, la predominancia de una especie sobre la otra aparentemente está determinada por la zona y por el período del año.

Existen altas correlaciones entre el número de días que la semilla permanece expuesta en el campo antes de la siembra y el porcentaje de infestación y, entre el primero y el número de larvas halladas dentro de las semillas. Sin embargo, las yemas de los trozos infestados germinan en forma aparentemente normal, y sólo 4 meses después se puede observar el efecto detrimental causado por las larvas sobre la población de tallos. A los 6 meses de edad del cultivo, este efecto desaparece, y al momento de la cosecha no se detectan disminuciones en el tonelaje ni en la producción de azúcar (Lastra y Gómez, 1984).

Chizas

Las chizas son plagas perjudiciales en algunas áreas cultivadas con caña en EE. UU. y Australia. En el valle geográfico del río Cauca sólo se ha detectado su presencia en la fase final del período de germinación de la semilla y no ha sido, por lo tanto, necesario establecer un programa para su control.

Existen varias especies de chizas o larvas de escarabajos (familia Scarabeidae) que causan daño en la caña de azúcar (Wilson, 1969). Estas larvas pasan por tres instares antes de alcanzar el estado de pupa, siendo el último el más voraz y destructivo. Su daño se concentra en el sistema radical de las plantas en desarrollo, las cuales toman una apariencia similar a la causada por el estrés debido a la falta de agua. Los adultos de los escarabajos emergen durante los períodos lluviosos y la mayoría de las especies cumplen su ciclo de vida en 1 año, aunque algunas tardan 2 años.

Hasta el momento, la medida más económica y eficiente para el manejo de esta plaga ha sido la resiembra con trozos de tallos en los focos de infestación. La aplicación de insecticidas y la inundación de los lotes no ha sido efectiva para el control del insecto.

Termitas o comejenes

Las termitas o comejenes son insectos sociales que se alimentan de tejidos leñosos; su preferencia por el estado de descomposición de estos tejidos varía de acuerdo con la especie del insecto, hasta el punto que es posible encontrar algunas de éstas que se alimentan de tejido vegetal vivo (Harris, 1969).

En el valle geográfico del río Cauca no existe información sobre el daño causado por termitas en caña de azúcar; en algunas áreas paneleras se ha detectado su presencia, pero sin ocasionar daños importantes; y en regiones con altas temperaturas como Codazzi (Cesar) es posible observar termiteros construidos con suelo dentro de campos de este cultivo, los cuales debido a su consistencia dura dificultan las labores de mecanización.

En esta misma región también se han encontrado cultivos de caña en todos los estados de desarrollo, afectados seriamente por comején. Se ha comprobado la presencia de dos especies diferentes: una que se alimenta de la caña y es una plaga directa, y otra que construye los termiteros dentro de los campos y causa problemas en forma indirecta.

El daño de las termitas durante la germinación puede obligar a la resiembra total del lote. En cultivos desarrollados, estos insectos destruyen el sistema radical y perforan completamente los tallos, ocasionando una disminución significativa en la producción.

El control del comején es difícil, ya que no es posible utilizar insecticidas organoclorinados de alta residualidad. Aunque existen otros productos que tienen un buen efecto de control, su baja persistencia los hace antieconómicos para uso continuado durante el ciclo del cultivo (Gómez et al., 1992). Aunque la inundación de los lotes es una práctica promisoriosa para el manejo de esta plaga, es costosa y difícil de realizar.

Insectos que Causan la Muerte del Cogollo de la Planta

En el valle geográfico del río Cauca, en la última década se han identificado dos insectos como responsables de la muerte de las hojas del cogollo (“corazones muertos”) de la caña: *Elasmopalpus lignosellus* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) y el complejo *Diatraea*, siendo, posiblemente, el primero el que se presenta con mayor frecuencia. *Castnia* sp. también causa este tipo de daño y se ha encontrado en algunas áreas paneleras, pero hasta el momento en Colombia no ha causado los daños económicos que presenta en algunos países vecinos.

Elasmopalpus lignosellus

La larva de esta polilla ha sido registrada como plaga en varias áreas productoras de caña de azúcar. En el valle geográfico del río Cauca se presenta, generalmente, en condiciones de sequía prolongada y con mayor frecuencia

durante el primer mes siguiente al corte. Las larvas penetran al tallo para alimentarse y salen inmediatamente, lo que hace difícil su localización en el tallo afectado. Estas se pueden encontrar generalmente dentro del suelo en las cercanías de los tallos que muestran el daño, y se reconocen fácilmente por su comportamiento nervioso. Si bien la larva induce la muerte de las hojas centrales del tallo, para que éste muera el daño tiene que ocurrir cerca a la yema terminal (Pantoja et al., 1993).

Complejo *Diatraea*

La presencia de *Diatraea* en caña joven ocurre generalmente un poco más tarde que la de *E. lignosellus*, es decir, después de 1 mes de realizado el corte. Esto hace que el punto de entrada esté muy cerca a la yema terminal y, por lo tanto, los “corazones muertos” que ocasiona generalmente inducen la muerte de los tallos. Las larvas de *Diatraea* se pueden encontrar dentro de los tallos recién atacados, hacen un orificio grande y se reconocen fácilmente por tener un tamaño mayor que el de *E. lignosellus* y por su coloración.

En el valle geográfico del río Cauca se evaluó, mediante inducción artificial, el daño económico debido a la presencia de “corazones muertos” (Pantoja et al., 1993); y se encontró que, aunque éstos causan un atraso en el desarrollo de los tallos inducen, a la vez, su proliferación, de tal forma que en niveles de daño moderado no se encontraron diferencias significativas en producción, en relación con las parcelas testigo (sin daño). Para que ocurra una reducción visible en el tonelaje, la incidencia de “corazones muertos” tiene que ser muy alta, es decir, afectar la mayoría de los tallos y persistir durante 1 mes o más. Por lo tanto, se puede concluir que bajo las condiciones normales de la zona azucarera de Colombia, la presencia de estas plagas no causa pérdidas y el primer riego después del corte es suficiente para recuperar las cepas más afectadas.

***Castnia* sp.**

El “gusano tornillo” (*Castnia* sp.) cuando ataca plantas jóvenes causa “corazones muertos”. Si bien las pérdidas que ocasiona en los estados tempranos de desarrollo de la planta no son importantes, sirven para detectar la presencia del insecto dentro de los lotes y proceder a su recolección manual, práctica que hasta el momento ha sido el método de control más eficiente a nivel comercial en Brasil y Panamá.

Insectos Defoliadores

Los insectos comedores de follaje se presentan con mayor o menor intensidad en todas las regiones geográficas donde se cultiva caña de azúcar. En África y Asia, por ejemplo, las langostas migratorias causan pérdidas importantes en el follaje (Bullen y McCuaig, 1969). En Colombia, específicamente en la zona azucarera, durante los últimos años de la década del 60 y a principios de la del 70, se presentó un alto incremento en la población del “gusano cabrito” lo que obligó a iniciar algunos programas de manejo integrado de plagas para reducir el daño

ocasionado por este insecto en plantaciones de caña. Después de este brote, su aparición ha sido esporádica y las experiencias logradas en aquel momento han sido la base para su control.

Teniendo en cuenta el período de desarrollo de la planta, los insectos comedores de follaje se pueden agrupar en: (1) *Spodoptera* spp. y *Mocis* sp., que se caracterizan por su presencia durante la germinación, y (2) *Caligo ilioneus* Cramer (gusano cabrito), que se presenta principalmente durante el período de maduración de la caña.

Spodoptera spp. y Mocis sp.

En este grupo se incluyen especies de la familia Noctuidae, orden Lepidoptera. Aunque las especies de *Spodoptera* son plagas de importancia económica en cultivos semestrales, su presencia en caña de azúcar es sólo facultativa, ya que en condiciones normales se hospedan y prefieren malezas gramíneas, que crecen en los campos durante los 3 meses posteriores a la germinación de la caña. Su cambio de hospedero ocurre, en la gran mayoría de los casos, en lotes enmalezados en los cuales la aplicación de herbicidas posemergentes se hace en forma tardía. Cuando la planta hospedera muere, las larvas de estos insectos se movilizan a la caña en busca de alimento. Si la población del insecto es alta, puede destruir el 100% de la lámina foliar. En ocasiones, como resultado de la escasez de follaje, las larvas de este grupo de insectos alcanzan a barrenar el material vegetativo del tallo y destruyen las yemas que están germinando.

Gusano cabrito

Durante la fase de infestación, las hembras del gusano cabrito (*Caligo ilioneus*, Lepidoptera: Brassolidae) depositan sus huevos en plantas de caña adulta, pero a medida que se establecen e incrementa la población del insecto, las larvas comienzan a alimentarse de plantas jóvenes, causando defoliaciones apreciables.

Las investigaciones realizadas en Africa y Asia demostraron que existe una correlación significativa entre la disminución del peso de la caña y el nivel de defoliación artificial que simula el daño ocasionado por langostas (Bullen y McCuaig, 1969). En CENICAÑA, Gómez y Vargas (1992) encontraron en las primeras etapas de desarrollo de las variedades Mex 52-29 y CP 72-356, que una defoliación severa por más de 1 mes, ocasiona una reducción de la altura y un incremento de la población de tallos; mientras que en el momento de la cosecha sólo se mantiene el efecto sobre la longitud y el peso de los tallos que se defoliaron entre 3 y 9 meses de edad. Los resultados de laboratorio mostraron que la concentración de azúcar también disminuyó debido a la defoliación a esta edad, lo cual revela la rusticidad de la caña, asociada con la facilidad de recuperación a la pérdida de los tejidos fotosintéticos.

Los insectos comedores de follaje frecuentes en el valle geográfico del río Cauca normalmente se encuentran afectados por parásitos, lo que mantiene sus poblaciones en niveles bajos. Los brotes ocasionales de comedores tempranos en

la caña se deben al manejo inadecuado de malezas, pero, en el caso del gusano cabrito, estos brotes tienen un origen desconocido hasta el momento. Por otro lado, cuando es necesario destruir un brote de esta plaga, hay varias alternativas de control que se pueden aplicar en forma sincronizada (Londoño et al., 1984). Una de ellas es la bacteria *Bacillus thuringiensis* Berliner, que es efectiva para el control de las larvas en todos los estados de desarrollo. Los adultos se pueden eliminar mediante el uso de cebos envenenados, que se colocan en los callejones de las “suertes” del cultivo con una alta población de insectos adultos en emergencia o próximos a ella. Existe también un número apreciable de parásitos que destruyen los estados de huevo y de pupa del insecto. En ningún caso se recomienda el uso de insecticidas convencionales para su control.

Insectos Barrenadores del Tallo

La caña de azúcar es especialmente susceptible a muchos insectos barrenadores del orden Lepidoptera y, en menor grado, del orden Coleoptera. Existen aproximadamente 50 especies de Lepidoptera que son barrenadores de la caña de azúcar. La mayoría de éstas pertenece a la familia Pyralidae (géneros *Diatraea* y *Chilo*, principalmente), aunque también se encuentran insectos de los géneros *Sesamia* (Noctuidae) y *Castnia* (Castniidae). Ninguna de las especies es, hasta el momento, cosmopolita, y por lo general, se mantienen dentro de su área de origen, después de emigrar de sus hospederos naturales, generalmente pastos, a la caña de azúcar.

Diatraea spp.

El género más ampliamente distribuido en América es *Diatraea*, el cual se encuentra confinado en este continente. *Diatraea saccharalis* es común en todos los cultivos de caña del territorio colombiano; sin embargo, no es la única especie encontrada en la caña. En la región norte y nororiental de Colombia, se ha encontrado además *D. rosa*, siendo *D. saccharalis* menos abundante; la primera, por el número de individuos y su tamaño, se considera como más peligrosa. A pesar de esto, la información sobre *D. rosa* es menor que sobre *D. saccharalis*.

En el valle geográfico del río Cauca, desde 1931 se tiene conocimiento de la presencia de *D. indigenella*, pero solamente en 1982 se encontró que esta especie no era tan escasa como en un principio se creyó, estando su distribución restringida a la parte central de esta región.

En la parte norte del Valle del Cauca, Trejos et al. (1985), utilizando trampas con hembras vírgenes de *D. indigenella* y *D. saccharalis*, no capturaron machos adultos de la primera especie; ésta fue más abundante en la parte central durante la segunda mitad del desarrollo del cultivo de la caña, mientras que en la parte sur, el número de individuos capturados de esta misma especie fue similar durante el ciclo completo del cultivo. Aunque el número de machos capturados de *D. saccharalis* fue notoriamente mayor que el de *D. indigenella*, la recolección manual de larvas no corroboró este hallazgo.

En la actualidad, las larvas recolectadas en lotes comerciales en la parte central pertenecen, casi en su totalidad, a *D. indigenella*. En áreas donde esta especie es abundante, no existe relación entre su aparición o dominancia y la edad del cultivo, o la influencia de factores geográficos como el río Cauca o las cordilleras. Aún dentro de una misma zona, la captura de machos en los diferentes lotes ha sido muy variable.

Para identificar individuos de ambas especies se pueden emplear las diferencias morfológicas a nivel de genitalia de los machos y las características externas de las pupas y los adultos. Las larvas de *D. indigenella* presentan, por lo general, un mayor tamaño y una coloración más oscura que *D. saccharalis*, pero éstas son características variables que exigen experiencia para su utilización (Pastrana y Gómez, 1991).

Se considera que la consecuencia más importante del daño causado por *Diatraea* es la reducción de la concentración de sacarosa en los jugos, lo que se traduce en una disminución en el porcentaje de azúcar recuperado. Las pérdidas se han estimado con base en el porcentaje de entrenudos dañados por el barrenador y conocido como intensidad de infestación (I.I.). Por cada unidad porcentual de incremento de la infestación disminuye el porcentaje de azúcar, en función del peso de la caña, entre 0.01 y 0.07, dependiendo de la variedad y de las prácticas culturales (Metcalfé, 1969). En Colombia, la reducción de la concentración de sacarosa en los jugos, debido al ataque de *Diatraea*, alcanza un valor de 0.04 (Escobar y Raigosa, 1982).

Además de la disminución en el contenido de azúcar, los barrenadores ocasionan pérdidas en tonelaje (Long y Hensley, 1972); se estima que por cada unidad porcentual de entrenudos dañados la reducción en el peso de la caña varía entre 0.38% y 0.59%, dependiendo de la variedad. Mathes et al. (1968) estimaron que las pérdidas en el campo equivalen al 74% del total, es decir tres veces las pérdidas que ocurren en fábrica por recuperación de azúcar.

En Colombia, Gómez (1990) no encontró reducción en el contenido de azúcar debido al daño por *Diatraea*, pero sí una reducción en el peso de la caña cosechada que varió entre 0.5% y 1.0% por cada unidad porcentual de daño (I.I.). Si se asume que la producción en el valle geográfico del río Cauca es de 120 t/ha de caña con un rendimiento de 11%, las pérdidas de azúcar por cada unidad de infestación varían entre 66 y 131 kg/ha.

El método de muestreo es la base para iniciar el programa de manejo de plagas, ya que determina la confiabilidad de los datos que permiten la toma de decisiones. Para *Diatraea* no existe un consenso acerca del método más adecuado y su escogencia depende, principalmente, de las necesidades de cada ingenio. Tanto la arquitectura de la planta como la forma comercial de cultivo dificultan el muestreo de esta plaga. En la actualidad se emplean con éxito dos métodos basados en la intensidad de infestación; el primero consiste en tomar una muestra de una cepa cada 4 ha de caña en pie; sin embargo, los estudios realizados por CENICAÑA (Vinasco y Gómez, 1991) indican que este método presenta alta variabilidad, lo que puede conducir a la toma de decisiones erradas. En el segundo

método se mide la intensidad de infestación en 20 tallos/ha tomados al azar en el momento de la cosecha. Esta información sirve para planificar en un futuro el control preventivo en el área evaluada.

Una variante de la última metodología consiste en hacer la evaluación sin partir el tallo en forma longitudinal. Sin embargo, este sistema subestima el valor real de la intensidad de infestación; por lo tanto, con base en los estudios de CENICAÑA se sugiere que, para obtener una confiabilidad de 90% y un error de estimación de la intensidad de infestación de ± 1.0 , se debe cosechar y partir una muestra de 120 tallos por lote, independiente de la extensión de este último, siempre y cuando la variedad sea la misma y se haya cultivado con prácticas similares. El esfuerzo para obtener esta muestra es ligeramente superior al que implica la segunda metodología antes descrita, pero la información que suministra es muy confiable, lo cual aumenta la eficiencia del programa de muestreo. Esto no cuestiona el éxito indiscutible que han tenido las metodologías ya mencionadas, el cual se basa posiblemente más en las características propias de los enemigos naturales utilizados, como son su capacidad para dispersarse y localizar los hospederos, que en la eficiencia misma de los métodos de muestreo.

Existe una alternativa de muestreo denominada secuencial que se basa en la clasificación de los campos en afectados y no afectados, y no en la determinación de la intensidad de infestación. Este enfoque de evaluación se traduce en una disminución marcada del esfuerzo que implica el diagnóstico de *Diatraea* a nivel de campo en los ingenios (Gómez y Moreno, 1987).

En Colombia, como en la mayoría de los países productores de caña, el control del *Diatraea* se hace aprovechando sus enemigos naturales (Gaviria, 1990; Raigrosa, 1981), los cuales se pueden dividir en dos grandes grupos: (1) parásitos de huevos, y (2) parásitos de larvas. En el primer grupo, se encuentra *Trichogramma* spp., el único parásito que en la actualidad se cría y libera en forma masiva. A pesar de que su empleo ha sido cuestionado a nivel mundial, pues no se ha demostrado que con él se logra un incremento significativo en la producción, aún se sigue utilizando en Colombia. La disminución en el número de huevos de *Diatraea*, que ocurre después de las liberaciones de *Trichogramma* spp., se puede deber más a las variaciones cíclicas naturales de la población de la plaga, que al incremento del parasitismo resultante de las liberaciones (Metcalf y Breniere, 1969). Esto fue comprobado en evaluaciones a nivel semicomercial en el valle geográfico del río Cauca, en las cuales no se obtuvo un incremento del parasitismo como resultado de las liberaciones inundativas, ni una disminución en los niveles de daño por *Diatraea* (Gómez, 1989). No obstante, existen evidencias que permiten suponer que se ha criado y liberado *T. pretiosum* Riley, una especie que escasamente acepta como hospedero a los huevos de los individuos del género *Diatraea*.

Las especies de parásitos de larvas de *Diatraea* son más abundantes, e incluyen en su mayoría la familia Tachinidae (Diptera), y para el caso específico de *Cotesia* (= *Apanteles*) *flavipes* (Cam.), a la familia Braconidae (Hymenoptera). Dentro del grupo de taquínidos, en América se crían y liberan las moscas: cubana

(*Lixophaga diatraeae* Townsend), indígena (*Paratheresia claripalpis* Wulp) (Figura 17) y amazónica (*Metagonistylum minense* Townsend) (Figura 18).

Lixophaga diatraeae se liberó en forma sistemática en el norte del Valle del Cauca, pero no se logró su adaptación y establecimiento (Gaviria, 1990). Aunque *P. claripalpis* se encontraba en la región, se introdujo la raza peruana de esta especie debido a que tiene un ciclo de vida más corto que la raza nativa y se liberó prácticamente en todo el área cultivada con caña. *Metagonistylum minense* no se encontraba en el país, por lo tanto, se introdujo del Brasil y se liberó en forma masiva. La avispa *C. flavipes* se introdujo posteriormente y se liberó en la zona cañera. Las moscas taquínidas se liberan a razón de 12 a 15 parejas/ha, después de 6 meses de edad del cultivo, mientras que *C. flavipes* se recomienda liberarlo a razón de 1000 avispas por hectárea (1 g de cocones, aproximadamente).

Es importante notar las diferentes formas de adaptación de estos parásitos en el valle geográfico del río Cauca. En la zona norte, *P. claripalpis* inicialmente mostró buenos niveles de parasitismo, pero posteriormente disminuyeron; esta reducción coincidió con un incremento del parasitismo por *M. minense*, lo que permite suponer la existencia de competencia interespecífica entre las especies con un desplazamiento en favor de la mosca amazónica (Gaviria, 1990). En la zona central, la recuperación de *M. minense* ha sido abundante como sucede en el Ingenio Pichichí, o bien escasa como en el Ingenio Manuelita. En la zona sur, ocurre una situación similar a la de la zona central, es decir, *M. minense* abunda en el Ingenio del Cauca mientras que en el Ingenio Mayagüez es escasa.

La mosca taquínida *Jaynesleskia jaynesi* Aldr. (Figura 19) existe en forma natural en las zonas central y sur del valle geográfico del río Cauca y, hasta el momento, no ha sido posible su multiplicación en condiciones de laboratorio. A pesar de que inicialmente se recuperaron masas de cocones de *C. flavipes*, este parásito no mostró buena adaptación en las condiciones de la región y, por lo tanto, no se volvió a recuperar. Por el contrario, en la zona panelera de la provincia de Soto (Santander), es abundante y tiene un buen efecto sobre las poblaciones de *Diatraea* (CENICAÑA, 1985).

En regiones donde se presenta más de una especie de *Diatraea* se ha observado que una de ellas predomina y, generalmente, es la especie diferente a *D. saccharalis*. En Venezuela es común el desplazamiento de *D. saccharalis* por *D. rosa* (Mendoza, 1977) y en el valle geográfico del río Cauca por *D. indigenella* (Gómez, 1989). En ambas zonas cañeras se han empleado los mismos parásitos para el manejo del barrenador, lo cual permite pensar que este desplazamiento se debe al efecto selectivo de los parásitos por *D. saccharalis*. El análisis de la información recolectada durante 1991 en la zona sur del Valle del Cauca, indicó un mayor parasitismo de *M. minense* sobre *D. saccharalis* que sobre *D. indigenella*; y por cada larva de *D. saccharalis* recolectada se encontraron seis de *D. indigenella* (información no publicada). De confirmarse esta observación, sería necesario considerar nuevos elementos para el manejo de *D. indigenella*, con base en un conocimiento más preciso, tanto de las especies plaga como de sus parásitos.

El éxito del control biológico de *Diatraea* se debe a los factores siguientes: (1) es un método de acción prolongada, ya que los parásitos repiten su ciclo de vida y eliminan a sus hospederos, lo cual se favorece por un cultivo permanente como la caña de azúcar, (2) no es estático, es decir los parásitos se desplazan y están biológicamente adaptados para buscar y localizar a sus hospederos, y (3) es de bajo costo, si se considera que su eficiencia es alta en comparación con otros métodos de control.

La resistencia varietal es otra alternativa de manejo de *Diatraea* que puede ser prometedora, ya que permite mantener un efecto sobre el insecto plaga en forma permanente, que se transmite a través de mecanismos genéticos. Sin embargo, los objetivos inmediatos de mejoramiento en la industria azucarera colombiana no permiten, por el momento, desarrollar variedades resistentes a plagas.

El empleo de insecticidas es una de las prácticas más utilizadas en algunas regiones para el control de *Diatraea* (Bessin et al., 1990), pero en Colombia es poco eficiente y, en consecuencia, no se utiliza. Mientras que en regiones como Louisiana (EE.UU.) la aparición de las poblaciones del barrenador es uniforme debido a las estaciones climáticas, lo cual facilita la aplicación en forma exitosa de insecticidas para el control de larvas, en la zona azucarera de Colombia la presencia constante de caña en diferentes etapas de desarrollo, asociada con temperaturas uniformes durante todo el año, favorecen la superposición de generaciones y de estados de desarrollo de *Diatraea*. En este último caso, las larvas después del segundo instar inician la actividad barrenadora y permanecen fuera del alcance de los productos químicos.

Por último, se ha estudiado el efecto de algunas prácticas culturales sobre las poblaciones del insecto, entre ellas la quema previa a la cosecha, pero aún no se han demostrado claramente sus beneficios (Long y Hensley, 1972).

Gusano tornillo

El barrenador gigante de la caña o gusano tornillo (*Castnia licus* Drury, Lep.: Castniidae) se encuentra distribuido en América tropical y se considera plaga de importancia económica en la zona norte de Brasil y en Panamá (Gómez y Gaviria, 1984). En Alagoas, Brasil, este insecto redujo en 65% el tonelaje. En cultivos de caña en las zonas paneleras de Santander y Antioquia, Colombia, se han encontrado ejemplares de *Castnia* (sin identificar hasta ahora) y de *Castnia humboldti* Boisd., este último como barrenador en cepas de plátano (Gallego, 1963). Es posible que los individuos encontrados en estas zonas pertenezcan a una sola especie (Esquivel, 1981) y, por lo tanto, su identificación es necesaria para la correcta evaluación del daño que causan y para la elaboración de un programa para su manejo integrado.

Las larvas de este insecto atacan las cepas y los tallos de la planta. Debido a su gran tamaño, estas larvas son capaces de destruir la mayoría del tejido vascular de la parte basal; sin embargo, aparentemente el suministro de agua a la parte superior de la planta no se afecta, ya que no se observan síntomas externos

de marchitamiento. Este hecho hace difícil detectar la presencia de larvas del gusano cabrito en plantas adultas. Por otro lado, se ha observado que la infestación con el insecto es mayor a medida que aumenta el número de cortes de un lote.

Castnia licus permanece la mayor parte del tiempo protegida dentro de las cepas y los tallos, lo que dificulta su control químico y biológico. En Panamá, se tiene como teoría que el uso de insecticidas destruyó las hormigas predatoras, favoreciendo la aparición de brotes masivos de esta plaga (Esquivel, 1981). Como medidas generales de control se proponen: (1) la renovación de los lotes afectados, (2) la inundación de éstos, y (3) la recolección manual de larvas. En Colombia, hasta el momento no existe una población de *Castnia* suficiente para ocasionar un daño de importancia económica; por lo tanto, se sugieren los sistemas preventivos de reconocimiento, que permitan detectar incrementos eventuales de la población del insecto.

Cucarrón de invierno

El cucarrón de invierno (*Podischnus agenor* Olivier (Col.: Scarabeidae) es un insecto barrenador cuyo adulto se alimenta de los tallos de la caña de azúcar y de otras gramíneas como el maíz. Los adultos emergen principalmente durante el período de lluvias del segundo semestre, copulan y ovipositan en el suelo. El macho construye túneles en la mitad superior de los tallos y luego, mediante la emisión de una feromona, atrae a la hembra (Eberhard, 1977). Los adultos pueden permanecer dentro del túnel entre 1 y 2 semanas, alimentándose y apareándose, para luego emigrar; es probable que un sólo individuo construya varios túneles. Las larvas de *P. agenor* se desarrollan en el suelo y se encuentran principalmente en los callejones, pero no dentro de los campos de caña. En el Valle del Cauca se ha encontrado que la infestación es mayor en los bordes que en el interior de los lotes, siendo más notoria esta tendencia a medida que la caña cierra su follaje sobre el suelo. Sin embargo, en algunos campos se ha observado una distribución más homogénea, presentando hasta 12% de las plantas atacadas a los 6 meses de edad (CENICAÑA, 1985), lo cual supone una pérdida aproximada de 16 t/ha. Los tallos atacados que no mueren emiten “lalas” en la parte inferior del orificio de entrada del insecto, y antes de la cosecha un número excesivo de “chulquines”, lo cual se traduce en una reducción del contenido de sacarosa.

El manejo de este insecto se basa en la recolección manual de adultos; aunque algunos individuos caen en las trampas de caña machacada que se usan para capturar picudos, el número no es lo suficientemente alto como para esperar un control efectivo.

Picudos de la semilla

Rynchophorus palmarum y *Metamasius hemipterus* no atacan, generalmente, tallos con entrenudos formados, pero pueden hacerlo en tallos que han sido perforados por otros insectos, por elementos mecánicos o cuando éstos se quiebran por volcamiento, como se ha observado con la variedad CC 84-75. Estos daños favorecen la fermentación que atrae a los individuos para alimentarse y ovipositar.

El daño del insecto se identifica principalmente por la presencia de trozos de fibra dentro de las galerías.

Para reducir la población de picudos, cuando se detecta una alta infestación, se emplean con éxito trampas construidas con guaduas que contienen caña en fermentación (Raigrosa, 1974).

Insectos Chupadores

El término insectos chupadores se refiere fundamentalmente a individuos de los órdenes Hemiptera y Homoptera; sin embargo, en caña de azúcar son pocas las especies del primer grupo que se alimentan en forma persistente de este cultivo. Muchas especies de homópteros atacan a la caña de azúcar y causan pérdidas considerables en forma directa o indirecta, pero, también es posible que una de estas especies se encuentre en un área cultivada y no alcance el estado de plaga de importancia económica, debido a que las condiciones no favorecen la explosión de su población.

De acuerdo con el tipo de daño, los insectos chupadores se pueden agrupar en dos categorías: (1) los que causan daño directo, y (2) los que transmiten enfermedades.

Insectos que causan daño directo

En Colombia se han registrado ataques esporádicos de insectos chupadores, tales como escamas (Fam. Coccidae), piojos harinosos (Fam. Pseudococcidae), pulgones (Fam. Aphididae), salivazos (Fam. Cercopidae) y saltahojas (Superfam. Fulgoroidea). Sus brotes en general son de poca duración y obedecen, posiblemente, a cambios en el ambiente local.

Salivazo o mión. *Aenolamia* es el género que comprende la mayoría de insectos conocidos como “salivazos” (cercópidos), los cuales causan grandes daños a la caña de azúcar (Fewkes, 1969). Las especies de este género se pueden desarrollar sobre pastos y malezas gramíneas, además de la caña. Las ninfas del insecto se encuentran recubiertas por material espumoso cuya función es, probablemente, la de protegerlas contra la desecación. La mayoría de ellas se desarrolla en la parte aérea del cultivo; sin embargo, las del género *Aenolamia* crecen dentro del suelo y chupan los nutrimentos desde el xilema de las raíces. Los adultos del insecto se desarrollan sobre el follaje y las hembras ponen sus huevos en el suelo cerca de la cepa de la planta. En este estado se presenta diapausa, aunque no se conoce con certeza los mecanismos que inducen su iniciación o su terminación, si se sabe que la humedad relativa influye en la eclosión de los huevos y la sequía incrementa su mortalidad.

Las ninfas de los cercópidos no causan un daño considerable en la caña, aunque hay evidencia que retardan el crecimiento de las plantas. El adulto se alimenta de las células del parénquima que rodean los haces vasculares, lo cual causa una quemazón característica en las hojas. Esta quemazón puede estar

asociada con la presencia en la saliva del insecto de enzimas del tipo amilasas, invertasas o lipasas, o bien de toxinas que podrían ser de tipo hormonal.

En Venezuela se hicieron estimativos de las pérdidas por cercópidos, comparando la disminución de la producción de azúcar debida al ataque severo del insecto en dos cortes sucesivos, encontrándose una reducción cercana al 25% (Salazar y Proaño, 1989).

Este insecto se ha encontrado causando daños considerables en algunos lotes localizados en Santander del Norte y Cundinamarca, Colombia. También se ha encontrado en Trinidad, Brasil, México y Venezuela. En este último país, las pérdidas en rendimiento de azúcar han llegado a 25%.

El uso de insecticidas, parásitos y predadores no ha dado resultados satisfactorios en el control de esta plaga. Se ha utilizado en forma comercial con buenos resultados el hongo entomopatógeno *Metarrhizium anisopliae* (Metschn.) Sorok para el control de *Mahanarva* spp. (Mendoza, 1989) en Brasil y, en Venezuela, para el control de *A. varia* (F.) (Zambrano et al., 1989).

Pulgones. En 1988 se presentó en el Valle del Cauca un brote sorpresivo del pulgón amarillo (*Sipha flava* Forbes, Hom.: Aphididae) que afectó principalmente las plantaciones de caña del Ingenio Riopaila. Fue necesario, en aquella época aplicar insecticidas en 4000 ha aproximadamente, lo cual ocasionó perjuicios económicos de consideración (Gómez, 1989).

Dentro de los aspectos biológicos de este insecto, que contribuyen a determinar el incremento acelerado de la población, están la duración del ciclo de vida y su alta tasa de reproducción. En CENICAÑA, bajo las condiciones de casa de malla, se encontró que el estado inmaduro del insecto fue de 12 días, dando origen a 1.4 crías diarias durante 20 días consecutivos. En condiciones tropicales, todos los individuos son hembras y no necesitan de apareamiento para reproducirse (Lastra y Gómez, 1990).

Aún se desconocen los elementos externos que durante 1988 influyeron en el incremento de las poblaciones de *S. flava* y de *Melanaphis sacchari* Zehntner (pulgón gris). Esta última especie se presenta sola o asociada con la primera, es poco nociva para la caña y es muy parasitada por la avispa *Lysiphlebus testaceipes* (Cress.) (Hym: Aphidiidae).

El pulgón amarillo forma colonias en el envés de las hojas; probablemente posee toxinas en la saliva, las cuales una vez se inyectan en el tejido vegetal ocasionan, inicialmente, pecas de color marrón y, posteriormente, el área afectada se torna amarilla, luego roja oscura y finalmente se seca. Puede encontrarse en plantas de caña en todas las edades, pero prefiere aquéllas que tienen entre 2 y 7 meses de edad (Gómez, 1989). En las áreas infestadas con este pulgón no se ha observado la fumagina, que normalmente se presenta con altas poblaciones de *M. sacchari*. Ninguna de las dos especies está asociada con la transmisión de enfermedades en la caña de azúcar. En condiciones de alta infestación con más de 30% de las hojas atacadas y 2 meses o más sin medidas de control, el tonelaje

de la variedad susceptible Mex 52-29 se redujo en 42% y la producción de azúcar en 54% (Londoño y Gómez, 1990).

Existen varias estrategias para el manejo de *S. flava*. Para el muestreo de poblaciones se deben seleccionar campos con variedades susceptibles (Mex 52-29, PR 61-632, Co 421) con una edad entre los 2 y los 7 meses. En cada campo se seleccionan, como mínimo 17 surcos, tomando un surco de cada 20. Dentro de cada uno de estos surcos seleccionados se escogen al azar seis tallos y en cada uno de ellos se determina el porcentaje de infestación en las cuatro primeras hojas (Gómez et al., 1990). Este método permite calcular la infestación con una confiabilidad del 80% y una precisión de ± 2.5 unidades porcentuales de infestación.

Si se encuentra que el porcentaje de hojas afectadas es mayor de 15%, o se detecta un foco de infestación, se recomienda tratar el área afectada con una aplicación de pirimicarb (200 g de producto comercial por hectárea) o de malathion (1.5 lt/ha) si los lotes están cerca a zonas habitadas (Gómez, 1989).

En condiciones naturales, el pulgón gris (*M. sacchari*) es parasitado en forma abundante por *L. testaceipes*; por el contrario, *S. flava* aparentemente es inmune a este y a otros parásitos y los registros de parasitismo que de él existen corresponden más bien a identificaciones erróneas (Stary, 1967). Aunque se han encontrado coccinélidos alimentándose del pulgón amarillo, éstos no parecen reducir las poblaciones de esta plaga. En el valle geográfico del río Cauca, las liberaciones de estos coccinélidos, recolectados previamente en focos de infestación de *S. flava*, no mostraron un efecto directo en la población del insecto (Londoño y Gómez, 1990).

Otros insectos chupadores

En el corregimiento de Tiendanueva, Palmira, Colombia, se han encontrado brotes de escama (*Pulvinaria* sp.), insecto que se localiza en forma individual sobre la lámina foliar, y del piojo harinoso (*Saccharicoccus sacchari* Cockerell) que se concentra en colonias en los nudos del tallo recubiertos por la vaina de las hojas. La presencia de estos insectos chupadores está estrechamente asociada con altos niveles de la "hormiga loca" *Paratrechina fulva* (Mayr) (Hym.: Formicidae), la cual los disemina y protege y éstos, a su vez, le proporcionan líquidos azucarados para su alimentación. Además del daño en la caña por los insectos chupadores, la hormiga loca es un problema por la molestia que causa al hombre y a los animales domésticos, siendo necesario, en muchos casos, aplicar cebos tóxicos para su control (Pulido y Gómez, 1992; Zenner y Ruiz, 1982).

En Jamaica, el saltahojas antillano (*Saccharosydne saccharivora* Westwood), un insecto chupador, se considera una plaga de importancia económica en la caña de azúcar (Falloon, 1981). En Colombia, sólo se ha detectado en la zona azucarera de Santander del Norte; aunque sus brotes han sido esporádicos y localizados, han favorecido el crecimiento de fumagina en los campos infestados. En esta misma zona y en Codazzi se ha encontrado el chinche de encaje (*Leptodictya tabida* H.-S., Hemip.: Tingidae), pero los daños que ocasiona en caña de azúcar no tienen importancia económica.

Insectos chupadores que transmiten enfermedades

Además del daño directo que pueden causar los insectos chupadores, es frecuente encontrar una asociación, a veces coevolutiva, entre algunas especies de homópteros y virus patógenos, los cuales pueden tener efectos aún más devastadores que los causados por la plaga. En Colombia, como en la mayoría de los países productores de caña, se encuentra diseminado el mosaico, enfermedad ocasionada por un virus (SCMV) que se puede transmitir por siete especies de áfidos; una de éstas es *Rhopalosiphum maidis* Fitch., ampliamente distribuida en Colombia. El SCMV es un virus no persistente que se puede adquirir fácilmente, tiene poca persistencia en el insecto trasmisor y, por lo tanto, se transmite en forma mecánica. El virus no se encuentra en la hemolinfa de su vector, el cual no es específico ya que la caña de azúcar no es un hospedero favorito. Es probable que existan otras formas importantes de transmisión y diseminación de la enfermedad. El manejo de ésta ha mostrado ser más eficiente mediante variedades resistentes y no a través del manejo de sus vectores.

La enfermedad de Fiji es causada por un virus que se transmite por insectos. El virus es del tipo persistente y su transmisión, que no ocurre en forma mecánica, requiere un tiempo largo; puede recuperarse en la hemolinfa de su vector, que se mantiene infectivo hasta su muerte (Pemberton y Carpenter, 1969). La presencia de este virus no ha sido reportada en América.

Existen tres especies de saltahojas del género *Perkinsiella* (Hom: Delphacidae) capaces de transmitir la enfermedad de Fiji, entre ellas, el saltahojas hawaiano (*P. saccharicida* Kirkaldy) se encuentra en Colombia. En el valle geográfico del río Cauca, este insecto ocurre en cualquier época del año, principalmente en plantaciones menores de 5 meses de edad; en la época seca, es posible observar fumagina en forma localizada como consecuencia de sus excreciones, pero las plantas se recuperan de este ataque. Como medidas de manejo local de la enfermedad, actualmente se buscan los medios que permitan reducir a corto plazo las poblaciones del insecto vector y, a largo plazo, se contemplan las alternativas de uso de patógenos (*Metarrhizium anisopliae*), o de insecticidas en el caso extremo. Para un programa de control a largo plazo y a nivel regional, se considera la posibilidad de utilizar enemigos naturales y la introducción o el desarrollo de variedades resistentes.

Comentario Final

La selección de la mejor o de las mejores medidas de control y el empleo de métodos de muestreo confiables y eficientes, son elementos fundamentales del manejo integrado de plagas; no obstante, la formación de una conciencia sobre este sistema de manejo a nivel de técnicos, administradores y agricultores es un aspecto que no ha recibido la importancia que requiere. Se debe comprender que los sistemas agrícolas no son estáticos y que las plagas exóticas pueden establecerse algún día; por lo tanto, insectos que hoy son raros dentro de la caña, mañana pueden ser devastadores. Por otro lado, las nuevas variantes de manejo de los

cultivos inciden en mayor o menor grado sobre las poblaciones de insectos. El manejo integrado significa prepararse y anticiparse a los brotes de las plagas, mediante la obtención de información que implica una alta inversión de tiempo, recursos y esfuerzo humano.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los miembros del Comité de Control Biológico de CENICAÑA sus valiosas sugerencias para la elaboración y revisión final del presente documento.

Referencias

- Bessin, T. T.; Moser, E. B.; y Reagan T. E. 1990. Integration of control tactics for management of the sugarcane borer (Lepidoptera: Pyralidae) in Louisiana sugarcane. *J. Econ. Entomol.* 83:1563-1569.
- Box, H. E. 1950. List of sugar cane insects. Common wealth Institute of Entomology, Londres. 101 p.
- Bullen F. T. y McCuaig R. D. 1969. Locusts and grasshoppers (Acridoidea) as pests of sugar cane. En: Williams, J. R.; Metcalfe, J. R.; Montgomery, R. W.; y Mathes, R. (eds.). *Pests of sugar cane*. Elsevier, Amsterdam. p. 391-409.
- CENICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). 1984. Programa de variedades, sección de Entomología. En: CENICAÑA informe anual 1984. Cali, Colombia. p. 29-38.
- _____. 1985. Programa de variedades, sección de Entomología. En: informe anual 1985. Cali, Colombia. p. 43-45.
- _____. 1989. Programa de Variedades. Carta trimestral 11(3): 1-5.
- _____. 1992. Logros y proyecciones. Serie informativa no. 16. 16 p.
- Eberhard, W. 1977. La ecología y comportamiento de los adultos del cucarrón *Podischnus agenor*. *Rev. Colom. Entomol.* 3:17-21.
- Escobar, J. A. y Raigosa J. D. 1982. Indices para la evaluación del control de plagas. Caso del *Diatraea saccharalis* (Fabricius) en caña de azúcar. Primer curso internacional de control integrado de plagas para el Grupo Andino. Palmira, Colombia. p. 52.
- _____. 1985. Evaluación de daños causados por *Diatraea* spp. en semilla vegetativa en caña de azúcar. *Rev. Colom. Entomol.* 11(2):15-23.
- Esquivel, E. A. 1981. El perforador gigante de la caña, *Castnia licus* Drury, y su control integrado. En: Segundo seminario interamericano de la caña de azúcar: Plagas de insectos y roedores. Memorias. Miami. p. 289-304.

- Falloon, T. 1981. El saltahoja antillano de la caña de azúcar (*Saccharosydne saccharivora* Westwood) (Homoptera: Delphacidae): Biología e investigaciones recientes sobre su control químico en Jamaica. En: Segundo seminario interamericano de la caña de azúcar: Plagas de insectos y roedores. Memorias. Miami. p. 254-259.
- Fewkes, D. W. 1969. The biology of sugar cane froghoppers. En: Williams, J. R.; Metcalfe, J. R.; Montgomery, R. W.; y Mathes, R. (eds.). Pests of sugar cane. Elsevier, Amsterdam. p. 283-307.
- Gallego, F. L. 1963. Superfamilia Castnoidea (*Castnoidea handlirsch*, 1925). Rev. Fac. Nac. de Agron., Medellín 23(58):22-44.
- Gaviria, J. D. 1990. El control biológico de los insectos plaga de la caña de azúcar en Colombia. En: Tercer Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Memorias. Cali, Colombia. Tomo 1. p. 201-227.
- Gómez, L. A. 1986. Las plagas de la caña de azúcar en Colombia. En: Buenaventura, C. (ed.). El cultivo de la caña de azúcar. Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Memorias del curso dictado en Cali, julio 28 a agosto 1 de 1986. p. 181-197.
- _____. 1989. El *Diatraea* y la industria azucarera en el Valle del Cauca, informe especial. Carta Trimestral de CENICAÑA 11(2):12-14.
- _____. 1989. Evaluación de las liberaciones de *Trichogramma* sp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) para controlar las poblaciones del barrenador *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Pyralidae) en caña de azúcar. 16o. Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen), Medellín. Memorias. p. 51.
- _____. 1989. Algunas experiencias sobre los áfidos de la caña de azúcar en el Valle del Cauca, Colombia, y su manejo. En: Tercera mesa redonda latinoamericana de fitosanidad de la caña de azúcar, Barquisimeto, Venezuela. 9 p.
- _____. 1990. Evaluación de la época crítica de ataque y de las pérdidas ocasionadas por *Diatraea saccharalis* bajo condiciones de infestación artificial. En: Tercer Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Memorias. Cali, Colombia. Tomo 1. p. 229-236.
- _____ y Gaviria, M. 1984. El barrenador gigante de la caña de azúcar (*Castnia* sp.) en Colombia. En: Primer Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Memorias. Tomo 1. p. 185-194.
- _____ y Moreno, G. 1987. Muestreo secuencial del daño causado por *Diatraea saccharalis* en caña de azúcar. En: Segundo Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Memorias. Tomo 1. p. 271-283.
- _____ y Vargas, H. A. 1992. Evaluation of the damage caused by leaf feeders in sugar cane through simulated defoliation. Sugar Cane 6:11-14.
- _____; Lopez, Y.; Vargas, R.; y Vivero, G. 1993. Manejo de comején en la caña azucarera de la costa atlántica. En: Foro sobre avances técnicos en el sector azucarero colombiano. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA). Cali, Colombia. Resúmenes. 50 p.

Insectos Asociados...

- _____; Palma, A. E.; y Gaviria, J. D. 1990. Determinación de un sistema de muestreo para determinar niveles de daño causados por *Sipha flava* (Homoptera: Aphididae) en campos comerciales de caña de azúcar. En: Tercer Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Memorias. Tomo 1. p. 249-259.
- Guagliumi, P. 1962. Las plagas de la caña de azúcar en Venezuela. Ministerio de Agricultura y Cría, Centro de Investigaciones Agronómicas, Maracay, Venezuela. Monografía no. 2.
- Hall, D. V. 1990. The sugarcane lacebug, an insect pest new to Florida. Sugar J. 53: 10-11.
- Harris, W. V. 1969. Termites as pests of sugarcane. En: Williams, J. R.; Metcalfe, J. R.; Montgomery, R. W.; y Mathes, R. (eds.). Pests of sugar cane. Elsevier, Amsterdam. p. 225-235.
- Lastra, L. A. y Gómez, L. A. 1984. Tiempo de exposición de semilla, como un factor que afecta los niveles de población del *Rhynchophorus palmarum* L. y *Metamasius hemipterus* L. en dos variedades de caña de azúcar; y evaluación de medidas de control. En: Primer Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Memorias. Tomo 1. p.195-208.
- _____ y _____. 1990. Biología de *Sipha flava* en tres hospederos y algunas observaciones preliminares sobre predadores. En: Tercer Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Memorias. Tomo 1. p. 237-247.
- Londoño, A. E. y Gómez, L. A. 1990. Efecto de las infestaciones de *Sipha flava* (Homoptera: Aphididae) sobre la producción de azúcar y posibilidades de su control mediante la liberación de coccinélidos. En: Tercer Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Memorias. Tomo 1. p. 261-270.
- _____; Garcia, C.; y Gómez, L. A. 1984. Control integrado del gusano cabrito (*Caligo ilioneus* Cramer) en caña de azúcar. En: Tercer Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen). Pasto. Memorias. p. 61.
- Long, W. H. y S. D. Hensley. 1972. Insect pests of sugar cane. Ann. Rev. Entomol. 17:149-76.
- Mathes, R.; McCormick, W. J.; y Charpentier I. J. 1968. Components of aggregate crop loss caused by the sugar cane borer. Proc. int. Soc. Sug Cane Technol. 13:1296-1299.
- Mendoça, A. F. 1977. Situación actual de *Diatraea* spp. en Venezuela, comparada con las observaciones realizadas en 1975. En: Seminario nacional sobre el problema de los taladradores de la caña de azúcar (*Diatraea* spp.). Barquisimeto, Venezuela. p. 143-150.
- _____. 1989. Manejo integrado de plagas de caña de azúcar no Brasil. En: Tercera mesa redonda latinoamericana de fitosanidad de la caña de azúcar. Barquisimeto, Venezuela. p. 7.

- Metcalfe, J. R. 1969. The estimation of loss caused by sugarcane moth borers. En: Williams, J. R.; Metcalfe, J. R.; Montgomery, R. W.; y Mathes, R. (eds.). Pests of sugar cane. Elsevier, Amsterdam. p. 61-79.
- _____ y Breniere, J. 1969. Egg parasites (*Trichogramma* spp.) for control of Sugar cane moth borers. En: Williams, J. R.; Metcalfe, J. R.; Montgomery, R. W.; y Mathes, R. (eds.). Pests of sugar cane. Elsevier, Amsterdam. p. 81-115.
- Pantoja, J. E.; Londoño, F.; y Gómez, L. A. 1993. Efecto de los "corazones muertos" por *Elasmopalpus lignosellus* y otros barrenadores sobre la producción de azúcar. En: Foro sobre avances técnicos en el sector azucarero colombiano. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA). Cali, Colombia.
- Pastrana, C. E. y Gómez, L. A. 1991. Estudio morfológico de *Diatraea indigenella* y *Diatraea saccharalis*, dos plagas de la caña de azúcar. En: 8o. Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen). Bogotá. Memorias. p. 37.
- Pemberton, C. E. y Charpentier, J. L. 1969. Insect vectors of sugar cane virus diseases. En: Williams, J. R.; Metcalfe, J. R.; Montgomery, R. W.; y Mathes, R. (eds.). Pests of sugar cane. Elsevier, Amsterdam. p. 411-425.
- Polania, Z. de y Ruiz, N. B. 1982. Uso de cebos contra la hormiga loca *Nylanderia fulva* (Mayr) (Hymenoptera: Formicidae). Rev. Colomb. de Entomol. 8(1-2):24-31.
- Pulido, C. de y Gómez, L. A. 1993. Manejo integrado de la hormiga loca (*Paratrechina fulva*) en la caña azucarera del Valle del Cauca. En: Foro sobre avances técnicos en el sector azucarero colombiano. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA). Cali, Colombia.
- Raigosa, J. D. 1974. Nuevos diseños de trampas para control de plagas en caña de azucar (*Saccharum officinarum* L.). En: Segundo Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen). Cali. Memorias. p. 5-24.
- _____. 1981. Manejo del taladrador de la caña de azúcar en un ingenio azucarero. En: Segundo seminario interamericano de la caña de azúcar: Plagas de insectos y roedores. Memorias. Miami. p. 337-352.
- Salazar, V. J. y Proaño, L. 1989. Evaluación de pérdidas ocasionadas por la candelilla de la caña de azúcar, *Aenolamia varia* (Homoptera: Cercopidae) en el área de influencia del Central Río Turbio: Estudio comparativo de las zafra 84/85 y 85/86. En: Tercera mesa redonda latinoamericana de fitosanidad de la caña de azúcar. Barquisimeto, Venezuela. p. 8.
- Stary, P. 1967. Biological control of sugarcane aphid pests in the West Indies (Hom., Aphidoidea; Hym., Aphidiidae) Rev. Agric. Subtrop. Tropic. 61 (1-2,3-4):38.
- TECNICAÑA (Sociedad Colombiana de Técnicos de Caña de Azúcar). 1991. Breve referencia al desarrollo de la industria azucarera de Colombia 1960-1990. Agenda azucarera 1991.
- _____. 1993. Anotaciones sobre la industria azucarera colombiana. Agenda azucarera 1993.

Insectos Asociados...

- Trejos, J. A.; Londoño, F. G.; García, C. P.; Gaviria, J. D.; Raigosa, J. D.; y Gómez, L. A. 1985. Distribución de las especies de *Diatraea* en caña de azúcar (*Saccharum* sp.) en el valle geográfico del río Cauca. En: 12o. Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (SOCOLEN). Medellín. Memorias. p. 30.
- Vinasco, A. J. y Gómez, L. A. 1991. Evaluación de algunos factores que inciden en la determinación del daño causado por *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Pyralidae) en caña de azúcar (*Saccharum* sp.). En: 18o. Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (SOCOLEN). Bogotá. Memorias. p. 38.
- Williams, J. R.; Metcalfe, J. R.; Montgomery, R. W.; y Mathes, R. (eds.). 1969. Pests of sugar cane. Elsevier, Amsterdam 568 p.
- Wilson, G. 1969. White grubs as pests of sugar cane. En: Williams, J. R.; Metcalfe, J. R.; Montgomery, R. W.; y Mathes, R. (eds.). Pests of sugar cane. Elsevier, Amsterdam. p. 237-258.
- Zambrano, C.; Sepúlveda, M. C.; Zambrano, E. B.; y Molina, N. 1989. Hongos entomopatógenos en Venezuela: *Metarhizium anisopliae* (Metch.) Sor., caracterización, formulación, producción y aplicación. En: Tercera mesa redonda latinoamericana de fitosanidad de la caña de azúcar, Barquisimeto, Venezuela. 32 p.

Enfermedades de la Caña de Azúcar en Colombia

Jorge I. Victoria, María L. Guzmán y Juan C. Angel*

El cultivo de la caña de azúcar es afectado por las condiciones de clima y suelos y por los factores biológicos. Entre estos últimos se encuentran las enfermedades patológicas que, en algunos casos, limitan el desarrollo del cultivo, ocasionando pérdidas económicas.

En las investigaciones realizadas por CENICAÑA en Colombia, se han identificado diferentes afecciones asociadas con las etapas del ciclo vegetativo de la planta. Las principales enfermedades que afectan este cultivo son producidas por hongos, bacterias, virus y nematodos.

Enfermedades Producidas por Hongos

Muermo rojo

El “muermo rojo” o pudrición roja es una de las enfermedades más antiguas y con mayor distribución mundial. La afección es causada por el hongo *Colletotrichum falcatum* Went. (*Glomerella tucumanensis* (Speg.) Arx y Muller, como estado perfecto), que afecta tanto los tallos como las hojas de la planta (Agnihotri, 1990; Martin et al., 1961).

Síntomas de la enfermedad. En el tallo, los tejidos internos presentan coloraciones rojizas en toda su longitud, las cuales con frecuencia aparecen cortadas en ángulo recto por manchas de color blanco. Algunas veces, estas últimas son tan frecuentes que el tejido interno tiene la apariencia de moteado (Figura 1). Los tallos en estado avanzado de afección emiten un olor fermentado agrio, se ahuecan y en su interior el hongo se desarrolla profusamente, produciendo acérvulos o cuerpos fructíferos asexuales donde se producen las esporas que forman masas rosadas con preferencia en los nudos (Singh y Singh, 1961). El material vegetativo para siembra afectado por el hongo tiene una germinación muy pobre. No obstante, entre las variedades de caña existen diferencias en el nivel de susceptibilidad al hongo (Agnihotri, 1990).

* Jorge I. Victoria es Ingeniero Agrónomo, Ph.D. María L. Guzmán es Bacterióloga y Juan C. Angel es Ingeniero Agrónomo. Programa de Variedades, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia-CENICAÑA, Apartado Aéreo 9138, Cali, Colombia.

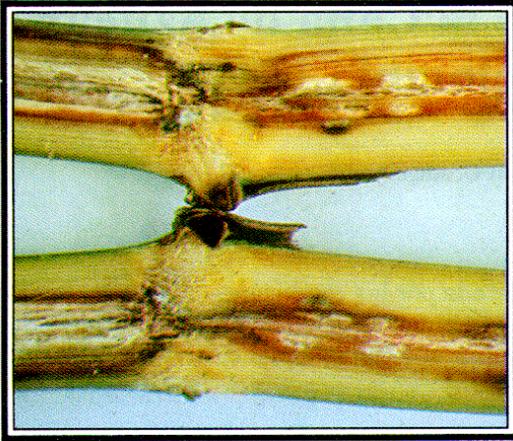


Figura 1. *Síntomas de la pudrición roja en material vegetativo de caña de azúcar. Obsérvense las zonas blancas que interrumpen la coloración rojiza típica de la afección.*

En las hojas, los síntomas de la enfermedad son de dos tipos: (1) En la lámina foliar se producen, por lo general, pequeñas manchas rojizas de 2 a 3 mm de longitud y 0.5 mm de ancho, dando la apariencia de un ataque de roya (Figura 2). Estas lesiones, en donde se producen los acérvulos del hongo (Singh y Singh, 1961), se pueden desarrollar en mayor o menor grado, según la variedad y las condiciones ambientales, pero en la mayoría de los casos no tienen efectos negativos importantes en la producción. Las variedades de caña V 71-49 y 71-51, sembradas en las zonas norte del Cauca y sur del valle geográfico del río Cauca, presentan un daño de severidad moderada por este tipo de infección. (2) Los síntomas de la enfermedad también pueden aparecer en la nervadura central de la hoja y, por lo general, se presentan en la mayoría de las variedades, independiente del grado de susceptibilidad o resistencia a las infecciones en el tallo (Agnihotri, 1990). Estas lesiones se inician en el haz de las hojas a partir de las posturas del saltahojas (*Perkinsiella saccharicida* Kirk.), aunque esto no siempre ocurre. En un principio aparecen manchas pequeñas en los sitios de oviposición en la nervadura central con desplazamiento posterior en ambas direcciones y penetran hacia el interior del tejido, formando, de esta manera, lesiones pequeñas y alargadas (Figura 3), las cuales tienen entre 3 y 96 cm de longitud. Sobre la superficie de las lesiones se forman las fructificaciones del hongo. La deficiencia de potasio en la planta puede, eventualmente, producir un síntoma parecido, pero éste se manifiesta sólo en la superficie y no en el interior de la nervadura central.

Control de la enfermedad. No existen variedades inmunes al muermo rojo, aunque sí hay diferencias en la reacción a la enfermedad; por lo tanto, el control de esta enfermedad se basa en la siembra de variedades resistentes (Agnihotri, 1990). Sin embargo, algunos fungicidas han mostrado cierto grado de efectividad en el control, en especial benomil (Benlate), en concentraciones de 100 a 200 ppm y carbendazim (Bavistin) al 0.5% (Anzalone Jr., 1970; Waraitch, 1983). El tratamiento consiste en sumergir los tallos utilizados en la siembra completamente en las soluciones durante una hora (Waraitch, 1983).

Enfermedades...



Figura 2. Lesiones en hojas de la variedad de caña de azúcar V 7151, producidas por la pudrición roja. Obsérvese su parecido a las lesiones ocasionadas por la roya.



Figura 3. Síntomas del daño de la nervadura central de la hoja, ocasionados por la pudrición roja, con daños por oviposición de *Perkinsiella saccharicida*.

Mal de piña

El “mal de piña” es causado por *Ceratocystis paradoxa* (Dade) Moreau, un hongo que ocasiona una pudrición amarilla o anaranjada en los tejidos internos del material vegetativo de siembra. La pudrición se inicia en los cortes realizados en el tallo y, en ocasiones, a partir de las yemas, cuando éstas han sufrido daños y heridas durante el manipuleo. En estados avanzados, la pudrición se torna negra, debido al crecimiento y fructificación del hongo (Figura 4). El material afectado emite el olor característico de la piña (Hughes et al., 1964; Wismer y Bailey, 1989).

Control de la enfermedad. El hongo sobrevive en el suelo y en el material afectado en descomposición, desde donde se disemina fácilmente por medio del viento y el agua de riego (Wismer y Bailey, 1989).



Figura 4. *Síntomas de la pudrición de la semilla producidos por el mal de piña. El ennegrecimiento es ocasionado por la producción de clamidosporas del hongo.*

El control más eficiente de la enfermedad consiste en la siembra de variedades resistentes (Padmanabhan y Jaleel Ahmed, 1970); sin embargo, algunos fungicidas son efectivos en el control del hongo, entre ellos: carboxin (Vitavax 300), captan (Orthocide 75) y triadimefón (Bayleton), aplicados en dosis de 2 g/l de agua, y benomil (Benlate), en dosis de 0.2 a 2.0 g/l de agua (Wismer y Bailey, 1989). Se recomienda sumergir completamente el material de siembra durante 20 minutos en la solución del fungicida y no sólo los extremos del tallo, como generalmente se hace.

Pudrición de las raíces

La pudrición de las raíces de la caña de azúcar es causada por diferentes especies de *Pythium*, principalmente por *P. arrhenomones* Drechsler y *P. graminicola* Subram. (Martin et al., 1961). Estos hongos inicialmente afectan las radículas secundarias de las plantas y, posteriormente, dependiendo de las condiciones de humedad y temperatura, pueden afectar las raíces primarias, produciendo, en muchos casos, la muerte de las plántulas. En las plantas adultas, el hongo puede ocasionar daños en el sistema radicular y, en consecuencia, afectar el desarrollo de la planta (Figura 5). La reducción en el desarrollo del follaje y del sistema radicular de la variedad de caña MZC 74-275, asociado con diferentes especies de *Pythium*, puede variar entre 18% y 30%.

El hongo se presenta de preferencia en suelos pesados o en aquellos que han sufrido compactación por el uso de maquinaria. En general, las especies de *Pythium* son importantes cuando la humedad en el suelo es superior a 20% y son un grave problema cuando es superior a 50% de la capacidad de campo.

Control de la enfermedad. El mejor control de *Pythium* spp. consiste en la aireación del suelo mediante la remoción de las capas superiores. Esto se puede hacer por escarificación, subsolado y cultivada, prácticas que evitan o disminuyen la compactación.

Enfermedades...



Figura 5. Reducción del sistema radicular de la caña ocasionado por diferentes especies de *Pythium* spp.

Pudrición de los brotes

Esta enfermedad es producida por *Sclerotium rolfsii* Sacc. (*Pellicularia rolfsii* (Sacc.) West, como estado perfecto), un hongo que se ha encontrado asociado con la pudrición de los rebrotes, así como de las vainas de las hojas inferiores de plantas adultas (Hughes et al., 1964). El exceso de humedad en el suelo facilita la invasión de los rebrotes de la planta por el hongo (Figura 6), ocasionando, en algunos casos, su muerte en forma prematura.

Síntomas de la enfermedad. Sobre la superficie de los tejidos afectados, el hongo puede formar esclerocios pardo-amarillentos que posteriormente se tornan pardo-oscuros (Agnihotri, 1990; Hughes et al., 1964).

Este hongo también se considera como el agente causal de la pudrición roja de la vaina, enfermedad frecuente en el cultivo de la caña. El hongo ataca las vainas de las hojas inferiores, formando manchas de color rojo-anaranjado con



Figura 6. Producción de esclerocios de *S. rolfsii* sobre brotes de caña recién germinados.

bordes definidos. El micelio del hongo, de color blanco, penetra en el interior de las vainas y las “pega” ligeramente. Entre las vainas, y a lo largo de sus bordes o sobre la superficie de las áreas enfermas, se desarrollan los esclerocios pequeños y redondos, inicialmente de color pardo-amarillento y, posteriormente, pardo-oscuro.

En ambos casos se ha considerado que el ataque de *S. rolfsii* no tiene importancia en el crecimiento y desarrollo de la planta de caña; por lo tanto, no es necesario aplicar medidas de control.

Mancha de anillo

La mancha de anillo o mancha anular es causada por *Leptosphaeria sacchari* van Breda de Haan, un hongo que se presenta principalmente en las láminas foliares, aunque en otras regiones del mundo se ha observado en las yaguas y en los tallos.

Síntomas de la enfermedad. Las manchas inicialmente son rojizas, pequeñas, ovaladas o esféricas; posteriormente son irregulares al aumentar su tamaño (2.5 a 4 mm de ancho x 10 a 12 mm de largo, dependiendo de la variedad. En el centro, las lesiones presentan un color “paja” característico, rodeado por un anillo café-rojizo. En ocasiones, estas manchas pueden unirse y afectar grandes áreas de la lámina foliar (Figura 7). Las lesiones se presentan de preferencia en la parte apical de las hojas inferiores o más viejas de la planta. Dependiendo de las condiciones del suelo y del desarrollo de la planta, las lesiones pueden cubrir, en su totalidad, las hojas inferiores y, a veces, las hojas siguientes en orden ascendente hacia el cogollo de la planta. Por último, las hojas afectadas se secan y desprenden del tallo (Hughes et al., 1964).

La transmisión de la mancha de anillo ocurre, aparentemente, mediante la dispersión de las esporas por el viento o por la lluvia, pero no hay evidencias de su transmisión por el material vegetativo (Hughes et al., 1964).



Figura 7. Síntomas típicos de mancha de anillo en hojas de la variedad POJ 2961. Obsérvese el anillo café rojizo bordeando el tejido color paja.

Enfermedades...

La presencia de la mancha de anillo se asocia con un pobre desarrollo de las plantas, ocasionado por las deficiencias nutricionales que son comunes en suelos arenosos y pedregosos. La enfermedad se observa con mayor frecuencia en la variedad de caña POJ 2878; en menor grado, en las variedades H 32-8560, Co 421, CP 38-34 y, ocasionalmente, en la variedad CP 57-603. La enfermedad no tiene importancia en el valle geográfico del río Cauca y se considera que la mayoría de las variedades tienen cierto grado de resistencia; por lo tanto, no se han desarrollado prácticas para su control.

Mancha de ojo

Esta enfermedad es causada por *Bipolaris sacchari* (Butl.) Shoemaker, anteriormente conocido como *Helminthosporium sacchari*, un hongo que produce en las hojas lesiones de 0.5 a 4.0 mm de largo x 0.5 a 2.0 mm de ancho.

Síntomas de la enfermedad. Inicialmente, las lesiones presentan un centro rojizo con un halo amarillento bien marcado que tiende a desaparecer a medida que aumenta el tamaño de aquellas. En condiciones de alta humedad, estas lesiones se pueden extender en forma longitudinal y afectar grandes áreas de la lámina foliar (3 a 6 mm de ancho x 30 a 90 cm de largo) (Figura 8) (Agnihotri, 1990; Comstock y Steiner, 1989; Martin et al., 1961).

Las variedades de caña Co 419 y Co 421, que se cultivan en algunas regiones de Colombia, son altamente susceptibles a la afección, dependiendo de las condiciones de alta humedad relativa (Escobar, 1962). Hasta el presente, la enfermedad no tiene importancia económica en otras variedades cultivadas en el valle geográfico del río Cauca, por lo que no existen medidas para su control.

“Pokkah boeng” o cogollo retorcido

Esta afección es causada por *Fusarium moniliforme* Sheldon (*Gibberella fujikuroi* (Sawada) Wollenweber, como teleformo) (Martin et al., 1961).



Figura 8. Diferentes síntomas de mancha de ojo en la variedad CP 57-603: estado inicial, intermedio y avanzado. En el estado avanzado se observa la prolongación de la lesión paralelamente a las nervaduras de las hojas.

Síntomas de la enfermedad. Se caracteriza por una clorosis, seguida por una malformación en la base de las hojas jóvenes (Figura 9). En las hojas afectadas, la base es más angosta que la de las hojas normales. A medida que la infección se desarrolla, pueden aparecer rayas pequeñas o “pecas” rojas dentro de las partes cloróticas y, posteriormente, en el envés de las hojas se puede apreciar sobre las lesiones un polvillo blanco característico, formado por las esporas del hongo. En algunos casos, los síntomas foliares van acompañados por la distorsión de los tallos afectados y, en ocasiones, por una pudrición severa del cogollo que ocasiona la muerte de la planta (Agnihotri, 1990; Martin et al., 1961).

La mayor severidad e incidencia de la afección se han observado en plantas de las variedades de caña CP 57-603, PR 61-632, MZC 74-275 y V 71-51. La incidencia de la enfermedad es mayor en plantas de 4 a 6 meses de edad; en otras etapas de desarrollo de la planta, la incidencia no es significativa. En la mayoría de los casos de “Pokkah boeng” que han ocurrido en el valle geográfico del río Cauca, las plantas han recuperado su desarrollo, una vez que han desaparecido las condiciones ambientales que favorecen la infección.



Figura 9. Síntomas de cogollo retorcido o “Pokkah boeng” con necrosamiento del tejido en la variedad CP 57-603.

Raya parda

Es una enfermedad relativamente nueva, en comparación con otras enfermedades como el mosaico, el carbón y la roya. Es causada por el hongo *Cochiobolus stenospilus* (Drechs.) Mat. y Yam. (estado perfecto) y *Bipolaris stenospila* (Drechs.) Shoemaker, como estado imperfecto; anteriormente, este hongo se conocía como *Helminthosporium stenospilum*.

Síntomas de la enfermedad. Los síntomas iniciales consisten en pequeñas manchas acuosas de aproximadamente 0.5 mm de diámetro, que se tornan rojizas y de forma alargada con sus ejes paralelos a la nervadura central de la hoja. A medida que las lesiones se desarrollan, toman un color pardo-rojizo y forman rayas que varían entre 2 y 10 mm de largo. Alrededor de estas rayas aparece un halo amarillento, el cual es ligeramente más ancho que la lesión (Figura 10) (Martin et al., 1961).

Enfermedades...

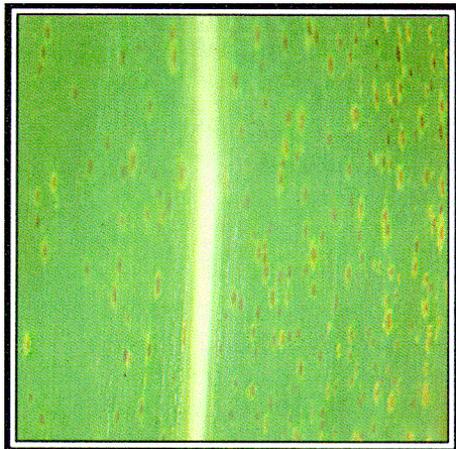


Figura 10. *Lesiones de raya parda paralelas a la nervadura central con un halo clorótico característico.*

En condiciones de sequía, la enfermedad es severa y la frecuencia y el grado del daño dependen de la susceptibilidad de las variedades. La variedad de caña EPC 54-839 es susceptible a esta enfermedad, mientras que la mayoría de variedades que en la actualidad se cultivan (PR 61-632, CP 57-603, MZC 74-275, CC 83-25, CC 84-75, V 71-51) son resistentes.

Mancha púrpura

Esta enfermedad es causada por el hongo *Dimeriella sacchari* (v. Breda de Haan) Hansford (Hughes et al., 1964). Anteriormente se le conocía como mancha amarilla.

Síntomas de la enfermedad. La enfermedad aparece como pequeñas lesiones rojizas o púrpuras con un borde amarillento, las cuales, si las condiciones ambientales son favorables, pueden coalescer y dañar grandes áreas de la lámina foliar (Figura 11). Las lesiones miden entre 0.5 y 2 mm, son redondas, elípticas o irregulares (Hughes et al., 1964).

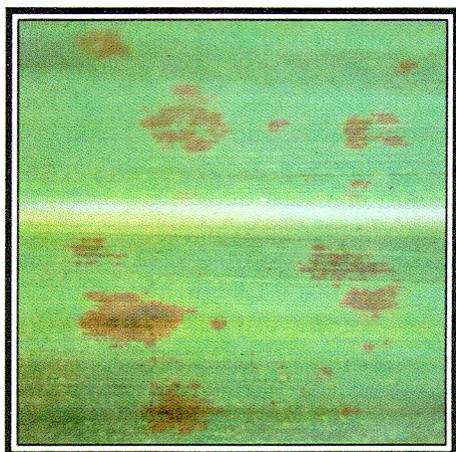


Figura 11. *Lesiones rojas o púrpuras con borde indefinido, características de la mancha púrpura.*

La enfermedad se presenta en las hojas inferiores y en las intermedias de las plantas de algunas variedades. El nivel del daño depende de la susceptibilidad de éstas y de las condiciones de alta humedad relativa.

Las variedades más susceptibles a esta enfermedad son: PR 61-632, CP 57-603, Mex 64-1421 y D 1058. Por el contrario, las variedades EPC 54-839, CC 81-12, Mex 68-808, CP 72-356 y Mex 58-418 son tolerantes.

Carbón

Es una enfermedad producida por *Ustilago scitaminea* Sydow, que se encuentra desde 1979 en el Valle del Zulia, Norte de Santander, y Codazzi en el Cesar. En marzo de 1981, se registró el primer foco de infección en el Valle del Cauca, en el sitio conocido como paso de Navarro en el municipio de Candelaria, desde donde se diseminó por todo el valle geográfico del río Cauca en un período de 6 años (Victoria et al., 1984 y 1990).

Síntomas de la enfermedad. El proceso de infección de la planta por el hongo se inicia con la germinación de las esporas cuando las condiciones de humedad son adecuadas. Inmediatamente después se produce un micelio que penetra en el tejido a través de las yemas caulinares, e invade la región meristemática de éstas, formando una asociación con el primordio de la yema. Cuando la yema germina, la plántula en la parte terminal de los tallos infectados presenta la formación de una estructura semejante a un “látigo”, que es el síntoma característico o primario de la enfermedad. Los tallos no se desarrollan y mueren (Figura 12). Además, la infección puede también ocurrir en las yemas de los tallos adultos, las cuales germinan y forman los brotes denominados “lajas”, que terminan igualmente con la formación de látigos; estos tallos afectados no mueren y pueden utilizarse para molienda. Esta fase de la infección se conoce como síntoma secundario (Figura 13).

La infección primaria tiene un impacto negativo mayor en la producción que la infección secundaria, ya que en la primera los tallos con látigos no llegan al



Figura 12. Síntoma primario de “látigos” en la parte terminal de la planta afectada por carbón, el cual se encuentra cubierto por millares de esporas.



Figura 13. Producción del "látigo" típico del carbón en "talas" o yemas laterales germinadas, como resultado de la infección secundaria.

molino; en cambio, los tallos con infección secundaria sí se pueden aprovechar para la producción de azúcar. Es necesario señalar que estos últimos son una fuente importante de inóculo del hongo para el siguiente corte, razón por la cual la enfermedad se incrementa a través del tiempo de cultivo (Ferreira y Comstock, 1989; Victoria et al., 1984 y 1990).

Los látigos pueden ser erectos o curvos y medir desde pocos centímetros hasta más de 1 m; en la parte central están formados por parénquima y tejido fibroso-vascular rodeado de gran cantidad de esporas (aproximadamente 1.5×10^{11} esporas por cada látigo), inicialmente cubiertas por una capa membranosa, que al final se rompe y las deja al descubierto. Otro síntoma de la enfermedad, además de la producción de látigos, es la formación en cada cepa infectada de 25 o más brotes de tipo herbáceo, que no tienen valor para molienda (Ferreira y Comstock, 1989; Victoria et al., 1990).

Pérdidas ocasionadas por el carbón. Esta enfermedad puede reducir de manera significativa la producción. La severidad de los ataques del hongo y las pérdidas económicas dependen del grado de susceptibilidad de las variedades. En algunos países, el carbón es considerado como una de las enfermedades de mayor importancia, mientras que en otros los daños no han sido significativos. Las pérdidas en las socas son generalmente mayores que en plantillas, siendo aproximadamente de 70% en las primeras y de 29% en las segundas. En Cúcuta, por ejemplo, se encontró que la infección con carbón en el 1% de los tallos de la variedad CP 57-603 ocasionó una disminución en el rendimiento de 1.1 t/ha, siendo el promedio de producción en el cultivo no infectado de 95 t/ha. En el valle geográfico del río Cauca, con la misma variedad se encontró una disminución en la producción de 2.15 t/ha por cada grado de infección, y un promedio de producción de 190 t/ha en plantaciones libres de carbón. Los datos anteriores indican que para la misma variedad existe una relación similar entre el patógeno y la planta, en dos zonas separadas más de 2000 km y bajo condiciones ambientales diferentes (Victoria et al., 1990).

En Colombia, la enfermedad se presenta en las variedades de caña CP 57-603 y 59-73, B 49-119, NCo 310, CP 65-357, Co 419, 421 y 740, PR 11-17 y H 50-7209.

Control de la enfermedad. La siembra de variedades resistentes es la forma más efectiva para controlar el carbón; sin embargo, la presencia de razas del patógeno podría dificultar el uso de estas variedades (Ferreira y Comstock, 1989). La respuesta diferencial de algunas variedades a la infección por carbón en Cúcuta y en el valle geográfico del río Cauca, puede explicarse a través de la variabilidad patogénica; sin embargo, es algo que aún no se ha comprobado. En ambas localidades sobresalen por su resistencia al carbón las variedades CC 82-28, 83-25, 84-75, 85-63, 85-92, Mex 64-1487, 68-808, POJ 2878, PR 61-632, RD 75-11 y V 71-51.

Para el control de esta enfermedad se recomienda, igualmente, el establecimiento de campos de multiplicación con material sano, previamente tratado por inmersión completa en triadimefon (Bayleton) a razón de 2 g/l durante 5 min. Por otro lado, la erradicación de las plantas afectadas, mediante la aplicación de glifosato (Roundup) en dosis de 10 ml/l de agua, puede retardar en más de 2 años una mayor incidencia de la enfermedad (Victoria et al., 1990).

Roya

La roya es causada por *Puccinia melanocephala* H. Sydow y P. Sydow; un hongo que se encuentra ampliamente distribuido en el Caribe en donde afecta principalmente a la variedad B 43-62. En Colombia se ha encontrado en el Valle del Zulia y en Codazzi afectando esta misma variedad; y en el valle geográfico del río Cauca, en donde además también ataca las variedades comerciales CP 57-603, MZC 74-275 y Mex 52-29 (Victoria et al., 1984).

Síntomas de la enfermedad. La enfermedad ataca las hojas y se presenta con mayor intensidad en plantas de 4 meses de edad. Los síntomas iniciales consisten en pequeñas manchas cloróticas y alargadas de color amarillento que aparecen en ambos lados de la hoja, las cuales al aumentar de tamaño toman un color marrón, rodeado de un halo amarillo pálido. Las lesiones forman pústulas en el envés, aunque pueden también aparecer en el haz de la hoja. Cuando la epidermis de la hoja se rompe, ocurre la liberación de las esporas que tienen un color anaranjado y se diseminan por el viento a grandes distancias (Figura 14) (Hughes et al., 1964; Victoria et al., 1984).

En el caso de ataque severo de la enfermedad, las lesiones pueden unirse, formando grandes áreas o secciones de color rojizo-oscuro que ocasionan el secamiento de la hoja. La planta, después de 6 meses de edad, presenta cierto grado de recuperación, dependiendo del nivel de susceptibilidad de la variedad.

Pérdidas ocasionadas por la enfermedad. Las pérdidas que puede ocasionar esta enfermedad en la producción de caña son variables. En algunos países se considera que la roya es una afección sin importancia; en Cuba, por el contrario, se estima que durante 1980 fue responsable de la pérdida de 1,300,000 toneladas de azúcar. Por otra parte, en Colombia se ha encontrado que la roya

Enfermedades...

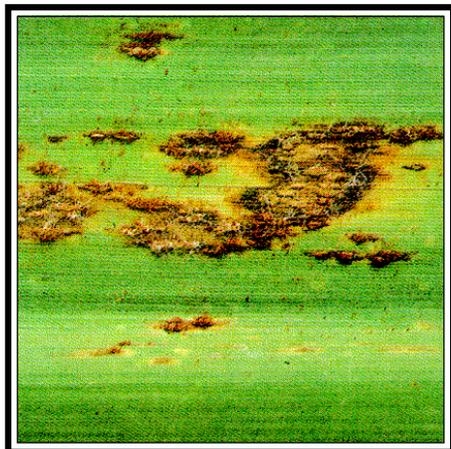


Figura 14. *Lesiones características de la roya con la producción de pústulas y gran cantidad de esporas en las hojas de la variedad CP 57-603.*

puede reducir en 4% la producción de la variedad CP 57-603 en suelos con buena fertilidad, pero en suelos menos fértiles, la reducción en producción puede llegar al 10%.

Control de la enfermedad. La mejor estrategia para el control de la roya es el cambio de las variedades susceptibles por variedades resistentes, tales como CC 82-28, 83-25, 84-75, 85-63, y 85-92, Mex 64-1487, POJ 2878, PR 61-632 y V 71-51.

La fertilización con nitrógeno y la aplicación de riego, una vez ha pasado el ataque de la enfermedad, estimula la producción de nuevo follaje libre de infección y la completa recuperación de la planta, alcanzándose, a veces, producciones de caña tan altas como las obtenidas con cultivos sanos. Es necesario señalar que las aplicaciones de productos químicos no han sido efectivas para el control de la roya.

Mancha amarilla

Esta enfermedad, causada por el hongo imperfecto *Mycovellosiella koepkei* (Kruger) Deighton, apareció en Colombia en 1984, específicamente en Codazzi (Cesar), Quibdó (Chocó) y, recientemente, en Sevilla (Magdalena). En el Chocó, una zona con alta precipitación, temperatura elevada y baja luminosidad, el desarrollo de esta enfermedad ha causado severos daños en la variedad Negra Chocó (posiblemente Otahiti).

La importancia de la enfermedad varía entre los diferentes países y regiones. Cuando las condiciones para el desarrollo de la enfermedad son adecuadas, las variedades susceptibles no deben plantarse, debido a las cuantiosas pérdidas que ocurren, tanto en el tonelaje de caña como en el rendimiento de azúcar.

Síntomas de la enfermedad. La afección se caracteriza por la formación de manchas amarillas en la lámina foliar. Estas aumentan de tamaño según la variedad; por lo general, la enfermedad comienza con la aparición de pequeñas

manchas cloróticas de 1 a 2 mm, que crecen hasta alcanzar entre 10 y 15 mm de diámetro (Figura 15); eventualmente, toda la hoja puede ser afectada. Cuando la enfermedad avanza, las manchas en el envés se tornan de un color marrón-rojizo característico y sobre ellas se puede observar el crecimiento del hongo de color verde-grisáceo (Ricaud y Autrey, 1989).

Control de la enfermedad. El hongo se transmite por el viento y las lluvias. En zonas donde el clima favorece la enfermedad, se deben cultivar sólo variedades resistentes. En algunos países del Caribe se ha utilizado con relativo éxito el fungicida benomil (Benlate), en dosis de 270 g/ha de ingrediente activo (Ricaud y Autrey, 1989).



Figura 15. Lesiones cloróticas características de la mancha amarilla dentro de las cuales se observan zonas necróticas.

Enfermedades Causadas por Bacterias

Raya moteada

La raya moteada es una enfermedad bacterial causada por *Pseudomonas rubrisubalbicans* (Christopher y Edgerton) Krasil'nikov.

Síntomas de la enfermedad. Los principales síntomas de la afección consisten en la aparición de rayas paralelas a las nervaduras de las hojas, de 0.2 a 0.4 cm de ancho x 5 a 100 cm de largo. La afección se presenta cerca a la unión con la yagua, donde se puede presentar coalescencia de lesiones; en algunos casos, esta coalescencia afecta toda la porción basal de la hoja (Figura 16). Las rayas presentan varios colores, desde amarillo-crema hasta rojo; en la gran mayoría de los casos, las rayas amarillas son jaspeadas por el color rojo (Hughes et al., 1964).

Con frecuencia, los síntomas de la raya moteada se confunden con los de la raya roja, enfermedad producida por *Pseudomonas rubrilineans* (Lee, Purdy, Barnum y Martin) Stapp, pero esta última se diferencia por la presencia de un

Enfermedades...



Figura 16. *Síntomas de raya moteada en hojas de la variedad CP 57-603. Nótese el jaspeado rojizo característico sobre algunas rayas amarillas.*

color rojo intenso, además de la presencia de un exudado sobre las lesiones en el envés de las hojas.

La raya moteada afecta únicamente las hojas y no se ha observado en las yaguas ni en el interior del tallo. Esto se ha comprobado al examinar tallos provenientes de plantas con follaje severamente afectado por la enfermedad, lo que disminuye la posibilidad de que la afección sea distribuida y diseminada a través del material vegetativo.

La enfermedad ataca plantas jóvenes, de 2 a 5 meses de edad, y su incidencia disminuye cuando se acerca la época de cosecha. Hasta el momento no se conoce la importancia económica del daño que ocasiona; aparentemente, sólo ocurre un retardo en el crecimiento de las plantas afectadas, principalmente cuando la enfermedad aparece durante el primer mes de crecimiento. Las variedades más susceptibles a la raya moteada son: CP 57-603 y V 71-51, mientras que CC 82-28, 83-25, 84-75, 85-63 y 85-92 son tolerantes.

Raya roja

Es una enfermedad causada por *Pseudomonas rubrilineans* (Lee, Purdy, Barnum, y Martin) Stapp, que tiene una amplia distribución mundial.

Síntomas de la enfermedad. La enfermedad se presenta como un rayado en el follaje o como una pudrición del cogollo. Estos síntomas pueden aparecer al mismo tiempo o en forma separada, dependiendo de la presencia de una alta humedad relativa en el ambiente (Agnihotri, 1990; Escobar, 1962; Martin et al., 1961; Victoria et al., 1984).

Las plantas jóvenes son más susceptibles a la raya roja que las adultas. En el follaje, esta enfermedad se caracteriza por la presencia de rayas largas, delgadas, uniformes y de color rojo-oscuro (Figura 17). Dos o más rayas pueden



Figura 17. *Síntomas de la raya roja. Obsérvense el ancho y el color rojo sólido de la raya roja en comparación con las rayas producidas por la raya moteada.*

coalescer para formar bandas de tejido afectado. En algunas variedades, las lesiones de las hojas se pueden extender hasta la vaina, mientras que en otras, las lesiones ocurren únicamente a la lámina foliar. En el envés de las hojas afectadas casi siempre se observa un exudado bacterial que se produce durante la noche. Con frecuencia, a partir de las vainas infectadas puede ocurrir la infección de los nudos y entrenudos, lo que resulta en la formación de cavidades internas.

La pudrición de los cogollos puede ocurrir por infecciones en el tallo o en las yemas, sin que se presenten síntomas en las hojas (Agnihotri, 1990; Martin et al., 1961; Victoria et al., 1984). En estados avanzados de la enfermedad, aquellos se desprenden con facilidad y emiten un olor desagradable.

Control de la enfermedad. La transmisión de la bacteria se produce a partir de los exudados presentes en el follaje, los que se diseminan por medio del agua lluvia. En la actualidad, la enfermedad no se considera de importancia económica, aunque se han registrado epidemias en las variedades de caña: Gloria 53 (en El Salvador), L 70-71 (en Guatemala) y B 43-62 (en Cuba) (Martin et al., 1961).

El control más efectivo y económico consiste en la plantación de variedades resistentes en reemplazo de las susceptibles: Co 419 y 991, POJ 2725 y 2727. Las variedades comerciales CP 57-603, MZC 74-275, CC 82-28, 83-25, 84-75, 85-63 y 85-92, que en la actualidad se cultivan en el valle geográfico del río Cauca, tienen un buen nivel de resistencia a la enfermedad.

Raquitismo de las socas

El raquitismo de las socas es una de las principales enfermedades de la caña de azúcar y su agente causal es la bacteria *Clavibacter xyli* subsp. *xyli* Davis, Gillaspie, Vidaver y Harris (Davis et al., 1980a y 1980b; Gillaspie Jr. y Teakle, 1989).

Enfermedades...

Síntomas de la enfermedad. Los síntomas de la enfermedad son muy variables y dependen, entre otros factores, de las condiciones ecológicas, de la variedad, del número de socas y de la edad de la planta. Las plantas afectadas sufren la obstrucción del xilema, lo que retrasa el crecimiento y disminuye la longitud, el diámetro y el número de tallos en cada cepa. A pesar de que este síntoma no es uniforme en todas las plantas afectadas, finalmente éstas toman una apariencia raquílica. Es importante señalar que las deficiencias de nutrimentos y el estrés por sequía pueden ocasionar alteraciones en las plantas con síntomas similares a los anteriores. Aunque en la parte interna de la base de los nudos afectados se pueden observar manchas en forma de comas de color anaranjado-rojizo, este síntoma no siempre ocurre en todas las variedades (Figura 18) (Davis et al., 1980a y 1980b; Gillaspie Jr. y Teakle, 1989).

Pérdidas ocasionadas por la enfermedad. El efecto de la enfermedad en la producción depende de la incidencia de la bacteria, la susceptibilidad de la variedad afectada y de las condiciones de humedad en el suelo (Gillaspie Jr. y Teakle, 1989). La reducción en la producción es mayor a medida que el número de socas aumenta, lo cual se puede relacionar de manera significativa con un incremento en la incidencia de la afección.

En Australia, las pérdidas en producción ocasionadas por el raquitismo de las socas, varían entre 10% y 15% en plantilla y entre 20% a 25% en socas (Gillaspie Jr. y Teakle, 1989; Martin et al., 1961). En condiciones de estrés por sequía, las pérdidas pueden ser mayores; en Hawái se encontró que con riego suplementario en la época seca las pérdidas en producción eran de 14.7%, mientras que en condiciones de sequía las pérdidas alcanzaron 34% (Gillaspie Jr. y Teakle, 1989). Según Koike (1980), los efectos negativos del raquitismo de las socas en la producción son mayores cuando la planta es afectada, al mismo tiempo, por el virus del mosaico de la caña de azúcar. En Colombia, Gálvez y Thurston (1961) encontraron que esta enfermedad puede reducir entre 65% y 70% la producción de la variedad de caña EPC 33-833. En general, se puede decir que el raquitismo de las socas reduce la producción entre 15% y 30%, dependiendo de la variedad y las condiciones de crecimiento del cultivo (Victoria et al., 1987).

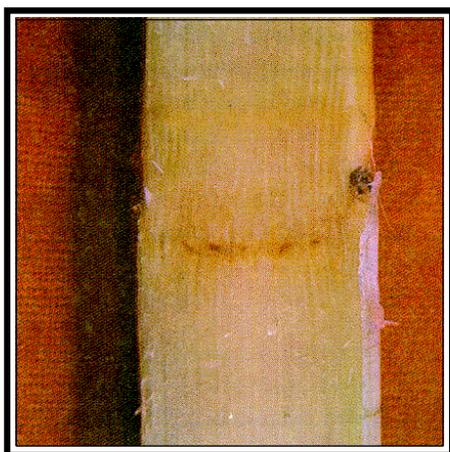


Figura 18. *Síntomas internos del raquitismo de la soca. Obsérvense las "comas" de color rojo anaranjado en la porción basal del nudo.*

Métodos para el diagnóstico de la enfermedad. Debido a la importancia que el raquitismo de las socas tiene en Colombia, CENICAÑA ha estudiado diversos métodos para su diagnóstico, entre ellos: el uso del microscopio de contraste de fases, autofluorescencia del metaxilema, inmunofluorescencia y aglutinación de látex. Con estos métodos se busca proporcionar a los cultivadores una forma efectiva para la detección de la bacteria en semilleros, que les permita utilizar como campos de multiplicación sólo aquellos que presenten menos de 5% de infección.

Desde 1985, cuando se inició el diagnóstico del raquitismo, la enfermedad ha disminuido a través de los años; de la misma manera, se ha observado un incremento en el número de muestras analizadas (Cuadro 1). Lo anterior indica que los cultivadores reconocen la necesidad de que sus campos de multiplicación se encuentren en un buen estado sanitario. No obstante, en 1992 se observó un leve incremento en la incidencia del raquitismo de las socas en relación con los años anteriores, lo cual se debió al cambio en la técnica de diagnóstico; a partir de ese año se emplea la técnica de inmunofluorescencia, la cual es más efectiva que las técnicas usadas en años anteriores.

Antes de 1981, en cultivos comerciales del valle geográfico del río Cauca el promedio de tallos infectados con la enfermedad era superior a 16%, llegando, en algunos casos, hasta 80%. A partir de 1991, el promedio de tallos infectados fue sólo de 1.4%, como resultado de la mayor utilización de material de propagación proveniente de campos sanos. Si los agricultores continúan con el buen manejo de estos campos, se espera que los porcentajes de infección disminuirán aún más en los próximos años.

Cuadro 1. **Incidencia del raquitismo de las socas en campos de multiplicación de caña de azúcar del valle geográfico del río Cauca. Servicio de diagnóstico sanitario de CENICAÑA.**

Año	Número de muestras	Porcentaje de tallos afectados	
		Máxima infección registrada	Promedio de infección
1985	138	80	10.5
1986	250	65	3.1
1987	138	15	1.9
1988	143	30	2.7
1989	205	15	1.9
1990	237	50	0.7
1991	101	5	0.1
1992	212	30	1.2
1993	78	20	0.8
1994 ^a	6	0	0

a. Información parcial hasta marzo de 1994.

Formas de diseminación de la enfermedad. En CENICAÑA se encontró que durante el establecimiento de campos nuevos, el raquitismo de las socas se puede diseminar por el empleo de material infectado, y durante la cosecha de la caña por contaminación con las herramientas (machetes). Por lo tanto, se espera que a través de los cortes de la plantación aumente la frecuencia de la enfermedad, ya que tanto las cepas como los tallos afectados son una fuente potencial de inóculo para las plantas sanas adyacentes (Ochoa et al., 1990). El peligro de transmisión de la enfermedad por las herramientas es aún mayor, si se considera que las bacterias adheridas a ellas pueden sobrevivir hasta por 18 días (Victoria et al., 1984 y 1985).

Control de la enfermedad. Para prevenir la enfermedad se debe utilizar material de propagación sano, desinfectar las herramientas de corte y usar variedades resistentes. El material de propagación libre de la enfermedad se obtiene tratando los tallos o estacas en un medio térmico (Benda, 1978; Benda y Ricaud, 1978). Entre éstos, los más utilizados son el aire caliente a 54 °C, aplicado durante 8 h (Gálvez y Thurston, 1961); el vapor aireado a 54 °C, durante 4 h (Steib y Cifuentes, 1977); y el agua caliente a 50 °C, durante 10 min y, después de 8 a 14 h, nuevamente a 51 °C durante 1 h (Victoria et al., 1984 y 1987). Cuando se utiliza aire caliente, el tratamiento se debe realizar durante tres a cinco períodos vegetativos consecutivos, para obtener, de esta manera, material aparentemente libre de la enfermedad.

En CENICAÑA, el mejor control del raquitismo de las socas utilizando medios térmicos, se ha obtenido con agua caliente (Victoria et al., 1985 y 1987). No obstante, este medio tiene un efecto negativo en la germinación, que se puede disminuir mediante el procedimiento siguiente: (1) seleccionar sólo material vegetativo con una edad entre 7 y 9 meses, y cortarlo en trozos con tres yemas cada uno; (2) aplicar un pretratamiento térmico del material, mediante su inmersión en agua caliente a 50 °C durante 10 min, con lo cual se protegen las yemas; (3) dejar el material en reposo durante 12 h, aproximadamente y, posteriormente, sumergirlo en agua caliente a 51 °C por 1 h; y (4) plantar el material inmediatamente en el campo.

Además del tratamiento térmico del material vegetativo, para prevenir la diseminación de la enfermedad se recomienda desinfectar la herramienta empleada en el corte. Esto se debe hacer mediante su inmersión en productos químicos, por lo menos una vez al pasar de una suerte o lote de corte a otro, o al cosechar material que ha sido tratado en forma térmica y que servirá para el establecimiento de nuevos campos comerciales. El Vanodine y el Sanivet al 1% son altamente efectivos para eliminar la bacteria del raquitismo que se encuentra adherida a las herramientas, aún cuando la inmersión de éstas en la solución sea de manera instantánea. El flameado del machete no es efectivo para eliminar la bacteria (Victoria y Guzmán, 1985).

La forma más económica y efectiva para el control de la enfermedad es el uso de variedades resistentes; desafortunadamente, éstas son escasas y en la actualidad únicamente el clon H 60-6909 se considera altamente resistente (Martin et

al., 1961). Las variedades de caña CP 29-116, Q 50, Co 775, CB 47355 e IAC 52-150 se han registrado como tolerantes. En Colombia, las variedades PR 61-632, V 71-51, CC 84-75 y 85-63 tienen buen desarrollo y son poco afectadas por la bacteria del raquitismo de las socas, aún en la época seca (CENICANA, información no publicada).

Escaldadura de la hoja

Es causada por la bacteria *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson; es la enfermedad de la caña de azúcar de más reciente introducción a Colombia, específicamente a las regiones de Codazzi en el Cesar (diciembre de 1993), Vegachí, Antioquia (marzo de 1994) y valle geográfico del río Cauca (diciembre de 1994).

Síntomas de la enfermedad. Su diagnóstico es difícil, ya que puede presentar cualquiera de los síntomas que se describen a continuación.

Fase latente: En la mayoría de los casos aparece en variedades resistentes o tolerantes. En la parte interior nodal de los tallos maduros se puede presentar una decoloración vascular parecida al síntoma del raquitismo de la soca, pero su diagnóstico preciso requiere del aislamiento del organismo y de pruebas serológicas (Agnihotri, 1990; Ricaud y Ryan, 1989).

Fase crónica: Constituye el síntoma clásico de la enfermedad. Se caracteriza por la presencia de estrías blancas, finas y bien definidas, formadas por una a varias rayas. Estas estrías se originan en las nervaduras de la hoja, son paralelas a ellas y, en algunos casos, se extienden hasta la vaina. Una sola cepa puede presentar a la vez tallos sanos y en fase crónica. En los tallos más viejos se pueden producir brotes laterales o “lalas”, los cuales son generalmente cloróticas y no sobreviven cuando se plantan (Figura 19) (Ricaud y Ryan, 1989).

Fase aguda: Se caracteriza por la muerte de la planta, la cual no muestra los síntomas crónicos. La muerte generalmente ocurre después de la época seca, favoreciendo de esta manera el desarrollo del patógeno (Ricaud y Ryan, 1989).



Figura 19. *Rayas o estrías blancas a lo largo de la lámina foliar, típicas de la escaldadura de la hoja.*

Enfermedades...

En Colombia, la escaldadura de la hoja se encuentra plenamente establecida en diversas plantaciones de caña de azúcar en Codazzi, Cesar, en especial en las variedades CP 72-356 y CC 84-75. En la región de Codazzi se han presentado las fases crónica y aguda en las variedades CC 84-75 y CC 85-63, y únicamente la fase crónica de la enfermedad en las variedades CP 72-356, NCo 310, MZC 74-275 y Azul de Casagrande. La enfermedad se observó por primera vez en esta zona en diciembre de 1993; sin embargo, por la distribución e incidencia en algunos lotes, es posible que esté presente en esa región desde hace varios años.

En Vegachí, Antioquia, se encontró en marzo de 1994 afectando semilleros de las variedades susceptibles CP 82-1995 y CC 84-75. Es posible que la afección haya estado latente en esa zona desde hace algún tiempo y solo ahora fueran evidentes los síntomas en su fase crónica ante la presencia de dos variedades susceptibles. Sin embargo, los semilleros originalmente afectados fueron destruidos en su totalidad de manera inmediata y un año después la enfermedad no se ha observado de nuevo, en especial en plantaciones comerciales de las variedades PR 61-632 y Co 421, que son las más comunes en la zona.

En el valle geográfico del río Cauca, durante diciembre de 1994, se observaron síntomas característicos de la escaldadura de la hoja sobre cepas de la variedad CC 85-92 en plantaciones de la hacienda "Cachimbalito" del Ingenio del Cauca. A partir de ese momento y desde este sitio, la enfermedad se ha diseminado a otras zonas, afectando diversas variedades de caña en la región. Otras variedades afectadas han sido CC 84-75, 84-10, 85-63, 85-47 y 89-1995, RD 75-11, MZC 74-275 y CP 82-1986. Hasta ahora no se han observado síntomas comprobados de la enfermedad en las variedades comerciales V 71-51, PR 61-632, CC 85-68 y 84-66.

Control de la enfermedad. La enfermedad se transmite principalmente por la siembra de material vegetativo infectado y por el empleo de herramientas infestadas, ya que el patógeno permanece viable sobre éstas hasta por 6 días. El mejor control consiste en el empleo de variedades resistentes, una adecuada selección del material de multiplicación, la eliminación del material enfermo en campos de multiplicación mediante el uso de glifosato al 4% y la desinfestación frecuente de las herramientas utilizadas para el corte mediante el uso de Vanodine o Sanivet al 2%. Con el tratamiento térmico (pretratamiento a 50 °C durante 10 minutos, reposo de 8-12 h y tratamiento a 51 °C durante 1 h) de la semilla con 3 a 4 yemas, proveniente de lotes afectados por la enfermedad, se ha observado un excelente control. El establecimiento de semilleros limpios, libres de la afección es básico para la siembra de lotes comerciales.

En un experimento que se viene realizando en Codazzi, Cesar, sobre la evaluación del nivel de resistencia de 491 variedades, el 52.9% de ellas fueron susceptibles, el 22.4% se consideraron con una reacción intermedia y el 24.7% con reacción de resistentes. Se encontró que las variedades CC 84-66, 85-68, 87-231, 87-409, 87-434, 87-474, 87-479, 89-2000, CCSP 89-2001, Co 421, My 5465, PR 61-632, RD 75-11, V 71-51 y Y-1 presentan un excelente nivel de resistencia. Estas variedades se pueden multiplicar y sembrar en sitios de alta incidencia de escaldadura de la hoja.

Enfermedades Causadas por Virus

Raya clorótica

La raya clorótica es una enfermedad que se presume de origen viral, aunque hasta el momento no se ha identificado su agente causal. Las posibilidades de que sea un micoplasma, hongo o bacteria, aparentemente se han descartado (CENICANA, información no publicada).

Síntomas de la enfermedad. La enfermedad se caracteriza por la presencia de bandas amarillentas en las hojas, generalmente continuas y bien formadas en las hojas adultas y discontinuas en las hojas jóvenes o en los estados iniciales de la infección. Los márgenes de las lesiones son irregulares, lo cual permite su diferenciación de otras afecciones con síntomas similares. Las bandas en estados avanzados pueden presentar necrosamiento del tejido en la parte central de la lesión (Figura 20).

Esta enfermedad se observa con mayor frecuencia en plantas adultas que se desarrollan en suelos pesados y húmedos. Generalmente se transmite con facilidad cuando se planta material vegetativo infectado; también es posible que se transmita a través de las raíces (Martin et al., 1961); por lo tanto, se sospecha de la presencia de un agente vector.

Pérdidas ocasionadas por la enfermedad. La importancia económica de la raya clorótica, tanto en plantillas como en socas, radica principalmente en la reducción de la germinación del material vegetativo proveniente de plantas enfermas, así como en la disminución en la producción en las plantaciones afectadas. Esta reducción depende de las variedades y de la región y puede variar entre 22% y 38% (Martin et al., 1961).

Control de la enfermedad. La enfermedad es fácil de controlar, debido a que el agente causal es relativamente sensible a temperaturas entre 45 y 55 °C y,



Figura 20. *Síntomas de la raya clorótica en las hojas de la variedad Co 421. Obsérvense las bandas amarillas a lo largo de la lámina foliar y el necrosamiento del tejido en la parte central de la lesión.*

Enfermedades...

por lo tanto, los tratamientos empleados para el control del raquitismo de las socas ayudan en la obtención de plantas libres de esta enfermedad (Egan et al., 1989; Victoria et al., 1987). Las principales variedades de caña afectadas por la raya clorótica son EPC 38-122, POJ 2878, Co 421, V 71-51 y 71-55. La incidencia de la enfermedad en las variedades Mex 64-1487 y 68-200 y CP 72-356 es muy baja.

Mosaico

El mosaico es una de las enfermedades más ampliamente distribuidas en el mundo, y es causada por el virus del mosaico común de la caña de azúcar (SCMV).

Síntomas de la enfermedad. Se caracteriza por la presencia en forma alterna de áreas verde-oscuras y cloróticas en la lámina foliar (Figura 21), en proporción variable según la variedad de caña afectada o la variante del virus presente (Koike y Gillaspie Jr., 1989).

Hasta 1930, en Colombia la mayor incidencia del mosaico se observó en las variedades criollas o cristalinas, época a partir de la cual se reemplazaron por la variedad POJ 2878, resistente a la enfermedad. Sin embargo, ésta apareció de nuevo en 1974 con el establecimiento de la variedad CP 57-603, susceptible a la infección por SCMV. En el valle geográfico del río Cauca, el virus ataca diferentes variedades de caña (Cuadro 2).

Pérdidas ocasionadas por la enfermedad. En 1978, en el valle geográfico del río Cauca, la incidencia de la infección por el mosaico en cultivos comerciales de la variedad CP 57-603 era, en promedio, de 15%. En 1981, la incidencia aumentó considerablemente en todo el departamento y varió entre 30% y 40%, llegando en algunos casos hasta el 100%.

Aunque la variedad CP 57-603 es tolerante al daño ocasionado por el mosaico, la alta incidencia de la enfermedad en esta variedad limita la utilización de otras variedades, que podrían ser empleadas como alternativa por su resistencia al carbón y a la roya, pero que son susceptibles al mosaico.



Figura 21. *Síntomas típicos de mosaico en hojas de la variedad CP 57-603.*

Cuadro 2. **Incidencia de razas del virus del mosaico de la caña de azúcar en plantaciones del valle geográfico del río Cauca, Colombia.**

Variedad de caña afectada	Variante del virus
H38-2915	A
H38-2915	A + B ¹
POJ 2961	A
H32-8560	B
CP 38-34	B
Co 421	A + B
Ja 60-5	B
CP 57-603	A
CP 57-603	B
CP 57-603	D
POJ 2878	B

1. Mezcla de partículas virales de las dos variantes.

FUENTE: Gillaspie Jr. En: Victoria et al., 1984.

La alta presión del inóculo y la presencia de poblaciones de insectos vectores favorecen una rápida diseminación de la enfermedad en las variedades susceptibles. El principal vector registrado es el áfido *Rhopalosiphum maidis* Fitch., el cual tiene en el sorgo y en el maíz sus principales fuentes de inóculo (Victoria et al., 1984). En 1992, se encontró en la zona otro áfido, *Hysteroneura sacchari* Thos., cuyo hospedante primario es el pasto Argentina (*Cynodon dactylon*), pero su eficiencia en la transmisión del mosaico es inferior a la de *R. maidis* (CENICAÑA, información no publicada).

Control de la enfermedad. El control del mosaico es difícil; los sistemas más comunes de control de la enfermedad incluyen la eliminación de las plantas enfermas, el uso de material de multiplicación libre de la enfermedad, y la siembra de variedades resistentes conjuntamente con algunas prácticas de cultivo.

Con la eliminación de plantas enfermas es posible mantener niveles bajos de incidencia, pero esto depende de la variedad y variante del virus y de la abundancia de los vectores presentes en la zona del cultivo. Sin embargo, esta práctica es costosa debido a los requerimientos de mano de obra, por lo cual en los últimos años se ha incrementado el uso de herbicidas como glifosato (Roundup) para la destrucción de estas plantas. Las variedades CP 72-356 y 72-370, POJ 2878, PR 61-632, Mex 68-808, V 71-51, RD 75-11, CC 83-25, 84-75, 85-63 y 85-92, son resistentes al mosaico, así como también al carbón y a la roya.

Enfermedades...

Daños por Nematodos

En plantaciones de caña de azúcar del valle geográfico del río Cauca, los nematodos más frecuentes son *Tylenchorhynchus* spp., *Pratylenchus* spp. y *Helicotylenchus* spp. Estos se reconocen por el daño que producen en el sistema radical de las plantas, el cual puede ser destruido cuando el ataque es severo (Williams, 1969). Por otra parte, *Macrophostomia* spp., *Xiphinema* spp. y *Trichodorus* spp. producen lesiones necróticas en el sistema radical y la destrucción de las raicillas secundarias. Igualmente, *Meloidogyne* spp. y *Radopholus* spp. producen agallas o nudosidades en las raíces (Williams, 1969).

Como consecuencia del daño en el sistema radical, las plantas presentan un follaje clorótico, tallos delgados y más cortos y se marchitan fácilmente durante los períodos de alta transpiración o de sequía.

Las pérdidas ocasionadas por los nematodos son específicas para cada variedad en cada zona ecológica. Así, en Panamá, con la variedad B 43-62 se han registrado reducciones en rendimiento superiores a 25%; en Australia, las pérdidas ocasionadas por los nematodos pueden llegar hasta 25 t/ha de caña, tanto en plantillas como en socas (Hughes et al., 1964; Williams, 1969).

El mejor control de los nematodos se obtiene con la aplicación de Furadan 5G en dosis de 5 kg/ha de ingrediente activo (i.a.), o Temik 10G en dosis de 3.5 kg/ha de i.a. Con la aplicación de estos nematicidas se han obtenido incrementos entre 14% y 81% en la producción de caña (Hughes et al., 1964; Williams, 1969).

Enfermedades Exóticas

Existen varias enfermedades de la caña de azúcar que no se han registrado todavía en Colombia, pero debido a las pérdidas significativas que producen en otras regiones, se estima conveniente incluir alguna información sobre ellas.

Enfermedad de Fiji

Esta enfermedad, causada por el virus FDV, se observó y estudió por primera vez en las Islas Fiji (Egan et al., 1989; Koike y Gillaspie Jr., 1989). El síntoma característico de la enfermedad consiste en la aparición de agallas en el envés de la hoja o de la nervadura central de las plantas afectadas. El tamaño de las agallas varía desde diminutas, que sólo se observan con ayuda de lupa, hasta grandes que miden 5 cm de largo x 2 ó 3 mm de ancho. Las agallas son producidas por la proliferación de las células del floema y del xilema (Koike y Gillaspie Jr., 1989); cuando están pequeñas, tienen el mismo color del tejido que las rodea, pero en hojas viejas su coloración se torna blanca. La afección presenta otros síntomas menos específicos como el enanismo de la planta y la alteración de la forma, el color y la textura de la hoja (Figura 22) (Egan et al., 1989).



Figura 22. *Enanismo producido en las plantas de la variedad NCo 310 por el agente causal de la enfermedad de Fiji, en contraste con las plantas aparentemente sanas.*

La enfermedad de Fiji no se ha registrado en América, estando restringida a las islas de la región del Pacífico sur: Samoa a Nueva Guinea, Filipinas, Tailandia, Malasia; Australia; y a la República de Malagasia en Africa (Egan et al., 1989).

El vector principal de la enfermedad son las ninfas del insecto *Perkinsiella saccharicida* Kirk., aunque los adultos también la transmiten. Este insecto se encuentra distribuido en Colombia, Ecuador y en otros países de América.

El sistema de control más eficiente de la enfermedad consiste en el uso de variedades resistentes o de material de multiplicación libre del patógeno y la destrucción de las plantas enfermas. Se ha observado que el tratamiento térmico no es efectivo para el control de la enfermedad.

Mata zacatosa y hoja blanca

Estas enfermedades, causadas por un micoplasma que aparentemente es el mismo en las diferentes localidades, tienen gran importancia en la India, Tailandia y Tailandia. La afección se caracteriza por una alta producción de brotes, los cuales no crecen, y la cepa toma una forma enanificada. Las hojas son delgadas, angostas poco desarrolladas y cloróticas; en algunos casos, la clorosis es tan fuerte que causa la muerte de la planta (Figura 23) (Hughes et al., 1964; Rishi y Chen, 1989).

La enfermedad se transmite por el uso de material vegetativo infectado y por vectores como los áfidos *Melanaphis sacchari* Zehntner y *Rhopalosiphum maidis* Fitch, así como por las herramientas utilizadas para el corte (Hughes et al., 1964; Rishi y Chen, 1989).



Figura 23. Proliferación de brotes producidos en cepas afectadas por la "Mata zacatosa".

Referencias

- Agnihotri, V. P. 1990. Diseases of sugarcane and sugarbeet. Revised edition. Oxford & IBH Publishing Co. PVT. Ltd., Nueva Delhi. 483 p.
- Anzalone Jr., L. 1970. Air pressure incorporation of fungicides into short stalk sections of sugarcane for the control of red rot. *Phytopathology* 60:741-742.
- Benda, G. T. 1978. Increased survival of young seed cane after hot-water treatment for RSD control. *Sugar Bull.* 56(19):7-14.
- _____ y Ricaud C. 1978. The use of heat treatment for sugarcane disease control. En: Proc. 16th. Congress International Society of Sugarcane Technologist (ISSCT). São Paulo, Brasil. 16:483-496.
- Comstock, J. C. y Steiner, G. W. 1989. Eye spot. En: Ricaud, C.; Egan, B.; Gillaspie Jr. A.; y Hughes, C. G. (eds.). *Diseases of sugarcane. Major diseases.* Elsevier, Amsterdam. p. 123-134.
- Davis, M. J.; Gillaspie Jr., A. G.; Harris, R. W.; y Lawson, R. H. 1980a. Ratoon stunting disease of sugarcane: Isolation of the causal bacterium. *Science* 210:1365-1367.
- _____; _____; Vidaver, A. K.; y Harris, R. W. 1980b. ***Clavibacter***: A new genus containing some phytopathogenic coryneform bacteria, including ***Clavibacter xyli*** subsp. ***xyli*** sp. nov., subsp. nov. and ***Clavibacter xyli*** subsp. ***cynodontins*** subsp. nov., pathogens that cause ratoon stunting disease of sugarcane and bermudagrass stunting disease. *Int. J. Syst. Bact.* 34(107-117).
- Egan, B. T.; Ryan, C. C.; y Francki, R. I. 1989. Fiji. En: Ricaud, C.; Egan, B. T.; Gillaspie Jr. A. G.; y Hughes, C. G. (eds.). *Diseases of sugarcane. Major diseases.* Elsevier, Amsterdam. p. 263-288.
- Escobar, C. 1962. Enfermedades de la caña de azúcar ***Saccharum officinarum*** en el Valle del Cauca. *Acta Agron.* 12:49-123.

- Ferreira, S. A. y Comstock, J. C. 1989. Smut. En: Ricaud, C., B.; Egan, A.G.; Gillaspie Jr.; y Hughes C.G. (eds.). Diseases of sugarcane. Major diseases. Elsevier, Amsterdam. p. 211-230.
- Gálvez, G. E. y Thurston, H. D. 1961. Ratoon stunting disease of sugarcane in Colombia. Plant Dis. Rep. 45:954-956.
- Gillaspie Jr., A. G. y Teakle, D. S. 1989. Ratoon stunting disease. En: Ricaud, C.; Egan, B. T.; Gillaspie Jr. A. G.; y Hughes, C. G. (eds.). Diseases of sugarcane. Major diseases. Elsevier, Amsterdam. p. 59-80.
- Hughes, C. G.; Abbott, E. V.; y Wisner, C. A. 1964. Sugarcane diseases of the world. v. 2. Elsevier Publishing Co., Nueva York. 354 p.
- Koike, H. 1980. Ratoon stunting and mosaic diseases: Factors contributing to declining sugarcane yields in Louisiana. The Sugar Bull. 58(13):12-14.
- _____ y Gillaspie Jr., A. G. 1989. Mosaic. En: Ricaud, C.; Egan, B. T.; Gillaspie Jr. A. G.; y Hughes, C. G.(eds.). 1989. Diseases of sugarcane. Major diseases. Elsevier, Amsterdam. p. 301-322.
- Martin, J. P.; Abbott, E. V.; y Hughes, C. G. 1961. Sugarcane disease of the world. v. 1. Elsevier Publishing Co., Nueva York. 542 p.
- Ochoa, O.; Guzmán, M. L.; Victoria, J. I.; Moreno, C. A.; y Angel, J. C. 1990. Eficiencia de la herramienta de corte en la transmisión del raquitismo de la soca (*Clavibacter xyli* subsp. *xyli*) en caña de azúcar. Fitopatol. Col. 14(1):32-38.
- Padmanabhan, D. y Jaleel Ahmed, N. 1970. Studies on the infection of *Ceratocystis paradoxa* (de Seynes) Moreau on the standing canes of sugarcane varieties. Indian Sugar 20:605-612.
- Ricaud, C. y Autrey, L. J. 1989. Yellow spot. En: Ricaud, C.; Egan, B. T.; Gillaspie Jr. A. G.; y Hughes, C. G.(eds.). Diseases of sugarcane. Major diseases. Nueva York, Elsevier, Amsterdam. p. 231-245.
- _____ y Ryan, C. C. 1989. Leaf scald. En: Ricaud, C.; Egan, B. T.; Gillaspie Jr. A. G.; y Hughes, C. G.(eds.). Diseases of sugarcane. Major diseases. Elsevier, Amsterdam. p. 39-58.
- Rishi, N. y Chen, C. T. 1989. Grassy shoot and white leaf diseases. En: Ricaud, C.; Egan, B. T.; Gillaspie Jr. A. G.; y Hughes, C. G. (eds.). Diseases of sugarcane. Major diseases. Elsevier, Amsterdam. p. 289-300.
- Singh, V. B. y Singh, K. 1961. Formation of red rot acervuli on the nodes and within the tissues of diseased canes. Curr. Sci. 30:63-64.
- Steib, R. J. y Cifuentes, O. M. 1977. Use of aerated steam as possible method for the control of sugarcane mosaic and ratoon stunting disease. Sugarcane Patho. News. 18(24-27).
- Victoria, J. I y Cassalet, C. 1985. Thermic control of ratoon stunting disease of sugarcane in Colombia. En: Proceedings 19th. Congress. International Society of Sugarcane Technologist (ISSCT). Indonesia. 19:325-331.

Enfermedades...

- _____ y Guzmán, M. L. 1985. Chemicals used to disinfect tools in order to limit the spread of ratoon stunting disease of sugarcane. En: Proceedings 19th. Congress International Society of Sugarcane Technologist (ISSCT). Indonesia. 19:332-335.
- _____; Amaya, A.; y Cassalet, C. 1990. Importancia del carbón y su estrategia de control en Colombia. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA). Serie técnica no. 7. 102 p.
- _____; Guzmán, M. L.; y Ochoa, O. 1987. Control químico y físico del raquitismo de la soca de la caña de azúcar. En: Memorias del Segundo Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Cali. p. 231-236.
- _____; Ochoa, O.; Cassalet, C.; y Gómez, J. 1987. Efecto del raquitismo de la soca en la producción de la caña de azúcar bajo distintas prácticas de manejo. En: Memorias del Segundo Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Cali. v. 1, p. 237-244.
- _____; _____; _____. 1984. Enfermedades de la caña de azúcar en Colombia. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA). Serie técnica no. 2. 27 p.
- Waraitch, K. S. 1983. Control of red rot of sugarcane with systemic fungicide. Indian J. Mycol. Plant Path. 13:343-345.
- Williams, J. R. 1969. Nematodes attacking sugarcane. En: Plachey, J. E. (ed.). Nematodes of tropical crops. Commonwealth Bureau of Helminthology, Reino Unido. Techn. Bull. (40):184-203.
- Wismer, C. A. y Bailey, R. A. 1989. Pineapple disease. En: Ricaud, C.; Egan, B. T.; Gillaspie Jr. A. G.; y Hughes, C. G. (eds.). Diseases of sugarcane. Major diseases. Elsevier, Amsterdam. p. 39-58.

Control y Características de Maduración

Jesús E. Larrahondo A. y Fernando Villegas T.*

En la caña de azúcar se pueden considerar los estados de maduración botánica, fisiológica y económica (Deuer, 1988). Desde el punto de vista botánico, se considera madura después de la emisión de flores y la formación de semillas que puedan dar origen a nuevas plantas. Si se tiene en cuenta la multiplicación vegetativa, que se utiliza en la práctica, la maduración tiene un ciclo más corto y ocurre cuando las yemas están en condición de originar nuevas plantas.

La maduración fisiológica se alcanza cuando los tallos logran su potencial de almacenamiento de sacarosa, o sea el punto de máxima acumulación de azúcar posible. La caña de azúcar alcanza la maduración botánica antes de la fisiológica; esto significa que la acumulación de sacarosa continúa, por lo general, por 1 ó 2 meses más, después del inicio de la caída de las semillas.

El concepto de maduración económica está sobre la perspectiva de las prácticas agronómicas. En este sentido, la caña se considera madura, o en condiciones para el beneficio industrial, a partir del momento en que presenta un contenido mínimo de sacarosa, y un «pol» por encima de 13% con base en el peso de la caña.

Maduración Fisiológica de la Caña de Azúcar

La maduración de la caña de azúcar se define como la culminación del proceso fisiológico que conlleva a la máxima acumulación de sacarosa en la planta. Clements (citado por Humbert, 1970) describe este proceso en dos etapas: la primera incluye el engrosamiento y cese de crecimiento de los entrenudos, acompañados por un incremento de la materia seca, y la segunda está relacionada con la acumulación de la sacarosa en los entrenudos totalmente desarrollados. Esta última etapa depende de factores nutricionales y ambientales. Varios investigadores (citados por Humbert, 1970) sostienen que si el agua y el nitrógeno son abundantes, la planta no madura. Estos investigadores encontraron que la fertilización con altas dosis de nitrógeno es la causa principal de las bajas acumulaciones de sacarosa en la caña, aunque este nutrimento puede incrementar la capacidad potencial de almacenamiento de una determinada variedad. Por otro

* Jesús E. Larrahondo es Químico, Ph.D, de CENICAÑA. Fernando Villegas es Ingeniero de Mecanización Agrícola del Programa de Agronomía de Cenicaña.

lado, Armas (citado por Martin et al., 1987) encontró que la absorción excesiva de potasio influye en el ciclo biológico de la planta, ocasionando el adelanto de la maduración y un aumento de sacarosa, en comparación con un cultivo que crece en condiciones normales.

La sacarosa constituye alrededor de 50% del total de la materia seca del tallo maduro de la caña de azúcar, y su contenido en el tejido parenquimatoso de almacenamiento es, aproximadamente, 20% de su peso fresco (Glasziou y Gayler, 1972).

Entre los compuestos que controlan la acumulación de sacarosa en los tejidos de almacenamiento se encuentran las invertasas. Estas son enzimas que dirigen la utilización de los azúcares durante el crecimiento y su acumulación en los tejidos de la planta. Existen dos tipos de invertasas solubles: la ácida, que tiene su máxima actividad entre pH 5.0 y 5.5; y la neutra, que es más activa a pH 7.0. Martin et al. (1987) citan, a Hatch quien considera que la invertasa ácida está presente en los tejidos inmaduros y la neutra en los maduros, a Alexander quien encontró ambas enzimas en el tejido meristemático, y a Armas, quien encontró variaciones en la concentración de ambas invertasas durante el ciclo de desarrollo de la caña de azúcar, siendo su actividad baja al comienzo del ciclo biológico y mayor en la etapa de crecimiento; igualmente, este último investigador encontró un aumento en la actividad de la invertasa neutra y una disminución de la invertasa ácida en la etapa de maduración. De acuerdo con Alexander, las invertasas ácidas son proteínas que poseen, además, otros componentes como azúcares y manganeso, que cuando son deficientes, ocasionan una pérdida en la actividad enzimática (Martin et al., 1987).

En general, las funciones y propiedades de las invertasas en los tejidos de almacenamiento inmaduros difieren de las enzimas correspondientes en los tejidos maduros, aunque en ambos casos se mantienen mecanismos similares de acumulación de la sacarosa. Glasziou y Gayler (1972) consideran que la invertasa ácida soluble desaparece rápidamente después que cesa el alargamiento celular. Hatch (citado por Martin, 1987) encontró que esta última enzima presenta variaciones con el clima, incrementando su actividad con el aumento de la temperatura; por el contrario, cuando ésta disminuye se incrementan la actividad de la invertasa neutra y el contenido de azúcares totales de los tejidos maduros. Estos hechos explican la importancia del clima, especialmente la temperatura, en la maduración de la caña de azúcar, y permiten deducir que en el almacenamiento de sacarosa en los tejidos maduros, intervienen tanto la invertasa ácida fijada en la pared celular como la neutra soluble.

Los estudios de Sacher y Glasziou (citados por Martin et al., 1987) en tejidos de caña maduros, indican que la síntesis de las invertasas están reguladas por auxinas y por un sistema retroalimentador que depende de los niveles de hexosas libres, las cuales controlan la actividad enzimática. Se ha determinado que la hidrólisis de la sacarosa es el factor que limita la celeridad de almacenamiento de este metabolito en los tejidos inmaduros. Esta hidrólisis se debe principalmente a la invertasa ácida soluble.

Se sabe que el crecimiento es una consecuencia directa de la respiración, pues ésta libera energía que es aprovechada por la planta para activar su elongación. Esta energía liberada proviene del gasto de los hidratos de carbono acumulados; por lo tanto, se insiste en la relación crecimiento/respiración/temperatura y su efecto en el almacenamiento de azúcares.

Según Clements (citado por Humbert, 1940), la producción de azúcar (asimilación) depende, principalmente, de la energía solar en forma de calor y luz, mientras que la utilización de azúcares (desasimilación) depende, en gran parte, de la humedad y del crecimiento. El balance entre la producción y la utilización se refleja en el contenido de sacarosa de la planta.

Antes de la maduración del tallo debe ocurrir un retardo en su tasa de crecimiento, lo cual es estimulado, entre otros factores, por las bajas temperaturas y la sequía moderada. Sin embargo, Clements al estudiar el desarrollo de la caña en dos localidades de Hawaiki, concluyó que las diferencias en rendimiento se deben más a la incidencia de la luz solar que al efecto de la temperatura.

El contenido de humedad en los tallos durante el período de maduración y cosecha es importante para asegurar una óptima concentración de los azúcares. Cuando decrece el contenido de humedad en la planta, la deshidratación conduce a la conversión de los azúcares reductores en sacarosa.

La maduración se puede regular mediante el control de las aplicaciones de nitrógeno y los riegos en la época final de crecimiento para favorecer la acumulación de sacarosa. Por otro lado, las condiciones ideales para la maduración fisiológica de la caña se pueden alterar en forma desfavorable por altas temperaturas; fotoperíodos cortos después de fotoperíodos largos que aceleran la fase reproductiva; niveles freáticos altos como consecuencia de lluvias abundantes, riegos frecuentes y malos drenajes.

En resumen, la capacidad de la planta de caña para producir sacarosa (azúcar comercial) depende de la variedad, el manejo del cultivo, y de los factores climáticos como precipitación, luminosidad y oscilación de la temperatura. El conocimiento de estos factores y sus efectos en la acumulación de sacarosa y otros productos, permitirá un manejo eficiente del cultivo y una mayor producción a nivel de campo y de fábrica.

Manifestaciones externas de la maduración

Cuando las condiciones son favorables para la maduración, las hojas en el cogollo, que normalmente son entre 12 y 15, se reducen a un número entre 6 y 10, si la variedad tiene buen deshoje natural. Como resultado de la disminución en el crecimiento y el acortamiento de los entrenudos, se forma una estructura similar a una palma y parece que todas las hojas salieran de un solo entrenudo. El color de las hojas se torna amarillo y la textura delgada y quebradiza. Los tallos desprenden la cera y cambian de color. Cuando la planta no se cosecha a tiempo, las yemas en la parte superior del tallo brotan y puede aparecer una médula corchosa dando como resultado la muerte del tallo (Buenaventura, 1986).

Manifestaciones internas de la maduración

Las manifestaciones internas de la maduración de la planta se refieren al contenido de humedad de algunos de sus tejidos, el brix del tallo y el contenido de sacarosa del mismo. La humedad se considera como el factor más importante para determinar la maduración del tallo; por tal razón, los programas de maduración de un cultivo se basan en el control del suministro de agua para reducir el crecimiento y favorecer la concentración de azúcares (Buenaventura, 1986).

Factores que Afectan la Maduración

Existen varios factores que actúan en forma combinada y determinan el rendimiento de la caña; entre ellos los más importantes son: la humedad en el suelo, la temperatura del aire, la luminosidad, la nutrición vegetal, y la floración.

La humedad

La humedad interna en la planta de caña es el factor dominante para la síntesis y traslocación de los azúcares. Cuando la planta se encuentra en desarrollo requiere un suministro adecuado de agua que le permita absorber los nutrimentos del suelo, transportarlos al tallo y asimilarlos para realizar los procesos fisiológicos. Al momento del corte, es necesario reducir el contenido de humedad para aumentar la calidad del jugo.

Si el contenido de humedad en el suelo es bajo, la cantidad de agua presente en los entrenudos más jóvenes disminuye y como resultado el crecimiento se reduce en forma gradual y prácticamente cesa cuando se alcanza el punto de marchitamiento. Cuando el desarrollo de la planta se retarda, disminuye la demanda de azúcares y éstos se almacenan en los tallos. En algunas regiones se hacen programas de maduración mediante el agostamiento de las plantas, que consiste en reducir el suministro de agua para estimular la concentración de azúcares en los tallos. Sin embargo, cuando la humedad en el suelo se recupera por las lluvias o por el riego, se puede reiniciar el desarrollo vegetativo del cultivo, lo que disminuye la calidad de los jugos.

La temperatura

Este factor es, quizás, el que más influye en la maduración de la caña de azúcar. Desafortunadamente, los factores climáticos, en especial la temperatura, no se pueden controlar, pero sí se conocen sus cambios a través del tiempo; por lo tanto, es posible manejar el ciclo del cultivo, adaptándolo a las condiciones del clima.

La temperatura afecta la absorción de agua y nutrimentos por la planta, limitando o acelerando su crecimiento y desarrollo. En las zonas subtropicales, las bajas temperaturas en el invierno reducen, casi totalmente, el crecimiento de la caña debido a que afectan la formación de la clorofila y la absorción de nitrógeno y potasio, aun cuando los niveles de estos nutrimentos sean adecuados en el suelo.

En estas condiciones, las hojas inferiores de la planta se secan en forma prematura y mueren, mientras que las hojas superiores toman un color verde-amarillento.

En condiciones tropicales, la temperatura tiene su mayor efecto sobre la calidad del jugo en los períodos secos, cuando la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima oscila entre 11 y 12 °C, lo cual estimula el almacenamiento de sacarosa. En las épocas lluviosas esta oscilación es menor y los rendimientos decrecen; por tal razón, estos períodos se aprovechan para el mantenimiento de los equipos en los ingenios azucareros.

En zonas como la Costa Atlántica de Colombia y en la mayoría de los países subtropicales, la humedad y la temperatura sólo permiten la cosecha de la caña durante una época del año, que se conoce como zafra.

La luminosidad

La luz es la fuente principal de energía para la fotosíntesis, y la caña de azúcar es uno de los cultivos que mejor la aprovecha. La disminución en la intensidad de la luz trae como resultado una reducción en la elaboración y el almacenamiento de azúcares, y una acumulación de almidones en las hojas.

Martín y Eckart (citados por Humbert, 1970), demostraron que al disminuir la intensidad de la luz aumenta la altura de los tallos primarios; el desarrollo de los tallos secundarios se retarda; las hojas se tornan angostas, alargadas y quebradizas; el desarrollo de las raíces se reduce; aumenta la clorofila en las hojas hasta cierto nivel y después empieza a decrecer, ocasionando una reducción en el porcentaje de materia seca.

Los nutrimentos

Los nutrimentos afectan el crecimiento y desarrollo de la planta y su maduración. El nitrógeno es esencial durante la etapa inicial de desarrollo para obtener altas producciones de caña; sin embargo, cuando se aplica en exceso tiene un efecto negativo en la calidad del jugo. Para una adecuada maduración es necesario que este nutrimento se mantenga en las hojas en niveles bajos hacia el final del período vegetativo. Las aplicaciones de nitrógeno se deben hacer en los primeros meses de desarrollo del cultivo (entre 2 y 6 meses) y no más tarde, para suspender así el desarrollo vegetativo de la planta y favorecer la acumulación de sacarosa. La aplicación excesiva de fertilizantes y de materia orgánica o riegos continuos con efluentes de las fábricas dificultan la maduración adecuada de la caña.

El fósforo es clave para la buena calidad de los jugos. Se estima que, para obtener una buena clarificación en los procesos de obtención de azúcar y en la elaboración de panela, se requiere una concentración mínima en el jugo de 300 mg/l de P_2O_5 . Además de su importancia para la clarificación, como constituyente del ácido nucleico, el fósforo es esencial para el desarrollo de la planta. Los compuestos fosfatados intervienen en el proceso de respiración y en la utilización del nitrógeno; por lo tanto, tienen especial importancia en el proceso de maduración.

El potasio y su relación con el contenido de nitrógeno afectan el desarrollo del cultivo y su rendimiento. Cuando el contenido de nitrógeno de los tejidos es alto y el de potasio es crítico, la humedad y los azúcares reductores en la planta son altos, la sacarosa y la pureza son bajas, y el rendimiento, por lo tanto, es menor. A medida que disminuye el contenido de nitrógeno y aumenta el de potasio, la humedad y los azúcares reductores bajan y se incrementan la sacarosa y la pureza, mejorando la calidad de los jugos.

La floración

Es un proceso natural que ocurre cuando las plantas completan su ciclo vegetativo e inician el período reproductivo. Las variedades de caña de azúcar no florecen con la misma intensidad, ya que existen factores genéticos que regulan la floración y factores ambientales que la inducen; entre estos últimos, el fotoperíodo es el que más incide. Se ha demostrado que un fotoperíodo amplio induce la formación del primordio floral en las variedades que son sensibles a florecer en condiciones naturales.

Cuando ocurre la floración, la planta suspende la formación de nuevos entrenudos y promueve la formación de yemas laterales; se inicia, entonces, la formación de una médula corchosa en la parte superior del tallo que se extiende hacia abajo, dependiendo principalmente de las condiciones de humedad. En condiciones de sequía, esta médula de corcho ocupa gran parte del tallo y contiene poco jugo; en consecuencia, cuando los tallos se procesan hay una mayor producción de fibra y bajo rendimiento de azúcar.

El efecto de la floración en el rendimiento de azúcar y en el peso de la caña, depende de la edad del cultivo y de la intensidad de aquélla. En condiciones ambientales favorables, la producción es menor cuando la floración ocurre en plantas aún jóvenes; pero si la floración ocurre cuando la planta se encuentra en período de maduración, las pérdidas en el peso son mínimas y el rendimiento en azúcar puede, inclusive, aumentar ya que al cesar el crecimiento del tallo se favorecen la acumulación y el almacenamiento de sacarosa. Sin embargo, el período de tiempo entre la floración y la cosecha debe ser corto para evitar la formación de médula corchosa y la inversión de la sacarosa.

Maduración de la Caña de Azúcar en el Valle Geográfico del Río Cauca

El valle geográfico del río Cauca constituye, por su ubicación y condiciones ecológicas, una de las cuatro regiones del mundo ideales para el cultivo de la caña de azúcar. El valle tiene un área total aproximada de 500,000 ha, de las cuales 185,000 están cultivadas con caña. Está localizado entre 3° 05' y 5° 01' de latitud norte y a 76° 12' de longitud oeste. El promedio de temperatura es de 23.8 °C con una oscilación de 11.5 °C. La precipitación, promedio anual, es de 1000 mm distribuida en dos períodos de lluvias; el primero, entre marzo y mayo; y el segundo, entre octubre y noviembre.

La producción de caña es, en promedio, de 125 t/ha, con un promedio de rendimiento en azúcar de 10.5%. La cosecha se hace durante todo el año; sin embargo, las altas precipitaciones en las épocas de lluvias y los problemas de drenaje no permiten una maduración adecuada en algunas zonas, causando una disminución significativa en la cantidad de azúcar recuperada. Las variaciones en la luminosidad, las oscilaciones en la temperatura y en las precipitaciones de la región, originan cambios en el contenido de sacarosa que, normalmente, se encuentran entre 11.5% y 13.5%, dependiendo de la variedad, la localización y la época de cosecha (Figura 1). En los períodos de menor precipitación y de amplia oscilación en la temperatura, se alcanzan los máximos contenidos de sacarosa; por el contrario, en los meses lluviosos y cuando la oscilación de la temperatura es menor, ocurre lo contrario.

Además de los factores ambientales, en la región se ha encontrado que el contenido de sacarosa está también relacionado con la variedad. Así, variedades como CP 57-603, MZC 74-275 y Mex 52-29 tienen altos contenidos de sacarosa, mientras que las variedades Co 421, PR 12-48 y 61-632 presentan contenidos medios de sacarosa y producen alto tonelaje de caña.

Para aumentar el contenido de sacarosa en condiciones adversas, se pueden aplicar productos químicos que regulan el crecimiento y aceleran la maduración. No obstante, su efectividad depende de factores como el producto utilizado, la dosis, la época de aplicación, la variedad de caña y el tiempo transcurrido entre la aplicación y la cosecha.

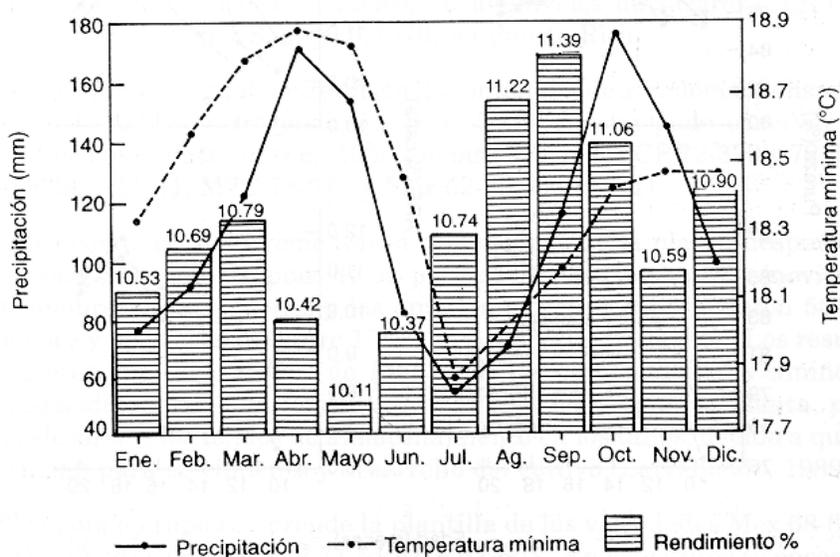


Figura 1. Efecto de la precipitación y de la temperatura mínima mensuales sobre el rendimiento (%) de la caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca. (Promedios entre 1970-1989). FUENTE: Cock et al., 1993.

Diferencias Varietales y Características Químicas durante la Maduración

En las evaluaciones realizadas desde 1985 con variedades de caña comerciales y promisorias, cultivadas en las condiciones de la estación experimental San Antonio del Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA), se han encontrado diferencias significativas durante la maduración en los contenidos de sacarosa, almidones, polisacáridos solubles, precursores de color (fenoles, amino-nitrógenos) y fibra. Hasta 1991, se habían evaluado las variedades CP 72-370 y 72-356, MZC 74-275, PR 61-632 y 11-41, Mex 52-29, 68-808, 64-1214, 64-1487 y 68-200, V 71-51, CC 82-28, 82-04, 83-07, 83-25, 83-29, 82-27 y 82-26 y CP 57-603, que se agrupan de la manera siguiente:

1. El primer grupo está formado por las variedades CP 72-370 y 72-356, MZC 74-275, Mex 52-29, PR 61-632 y 11-41 (Figura 2). La tres primeras maduraron entre 12 y 16 meses y presentaron niveles de pureza y azúcar

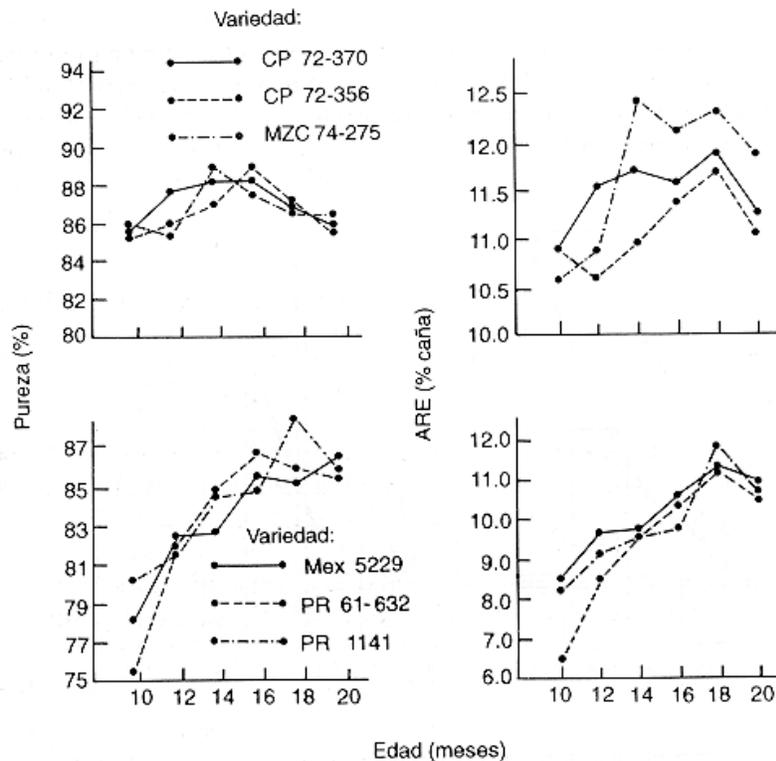


Figura 2. Curvas de maduración de las variedades de caña CP 72-370 y 72-356, MZC 74-275, Mex 52-29, PR 61-632 y 11-41, cultivadas en un suelo arcillo-limoso de la serie Manuelita. Valle del Cauca, Colombia.

recuperable superiores a 84% y 10.5%, respectivamente. Por el contrario, las variedades PR 61-632 y 11-41 mostraron una maduración tardía, alcanzando una buena acumulación de sacarosa y alta pureza entre 16 y 20 meses de edad. En relación con el contenido de compuestos diferentes a la sacarosa, se encontraron en este grupo variaciones significativas con la edad y la época de corte en los niveles de almidón (Figura 3, Cuadro 1). La concentración más alta se encontró cuando la caña llegó a su máxima maduración, época en la cual se observó una relación positiva entre los niveles de almidón y los fosfatos, de manera similar a la reportada por Chen (1968) en Taiwan. Las variedades CP 72-370 y 72-356 presentaron una mayor concentración de almidón en los jugos, que podría dificultar el procesamiento de la caña en la fábrica (Imrice y Tilbury, 1972).

En las evaluaciones realizadas por CENICAÑA, se ha observado que durante la maduración de las variedades ocurre un incremento de la fibra con la edad del cultivo, siendo mayor el porcentaje de este compuesto en el momento de la máxima maduración de la planta. Así, por ejemplo, en este primer grupo se encontró que todas las variedades presentaron valores de fibra que oscilaron entre 10.5% y 15% (Figura 4).

La influencia de la precipitación en la calidad de la caña se puede observar en las variedades CP 72-370 y 72-356, PR 61-632 y 11-41, MZC 74-275 y Mex 52-29 (Cuadros 1 y 2). El mayor contenido de sacarosa en estas variedades se encontró cuando antes del corte se presentó un período de baja precipitación. Por el contrario, una alta precipitación acumulada 1 ó 2 meses antes de la cosecha, causó un descenso en los niveles de sacarosa, tal como lo encontraron Shoji y Samuels (1976) en Puerto Rico.

La precipitación igualmente afecta los contenidos de almidones, polisacáridos, fenoles y amino-nitrógenos (aminoácidos), como se pudo observar en las evaluaciones efectuadas en 1988 con las variedades CP 72-370 y 72-356, PR 61-632, y 11-41, MZC 74-275 y Mex 52-29 (Cuadro 1).

Estos compuestos incrementaron en los jugos de la planta después de un período seco, pero después de un período lluvioso de 2 meses (noviembre a diciembre), los almidones y los amino-nitrógenos disminuyeron 50% y los fenoles y polisacáridos entre 10% y 24%, aproximadamente. Los resultados sugieren que bajo estrés de humedad, los carbohidratos y aminoácidos producidos durante la fotosíntesis y el metabolismo de la planta, podrían traslocarse a los tejidos de almacenamiento en los tallos, debido a que no se utilizan para crecimiento y desarrollo del cultivo (Larrahondo, 1989).

2. El segundo grupo comprende la plantilla de las variedades Mex 68-808, 64-1487, 68-200 y 64-1214, V 71-51 y CP 57-603. En este grupo se encontraron diferencias varietales en los contenidos de sacarosa y no-sacarosa de los jugos (Cuadros 3 y 4). Las variedades Mex 64-1487 y 68-808, V 71-51 y CP 57-603 sobresalieron por su contenido de sacarosa a la edad de máxima maduración, que ocurre entre 18 y 20 meses.

3. El tercer grupo, resultante del proceso de selección realizado en el Programa de Variedades de CENICAÑA, está formado principalmente por variedades colombianas (CC), de las series 82 y 83. En este grupo, al igual que en el anterior, se encontraron diferencias en los contenidos de sacarosa y compuestos no-sacarosos durante el ciclo de maduración de la planta. El mayor contenido de sacarosa y el máximo rendimiento potencial de azúcar se encontró en las variedades CC 83-25 y 83-07 y CP 57-603, siendo esta última una variedad testigo (Cuadro 5). Igualmente se observó un incremento en el

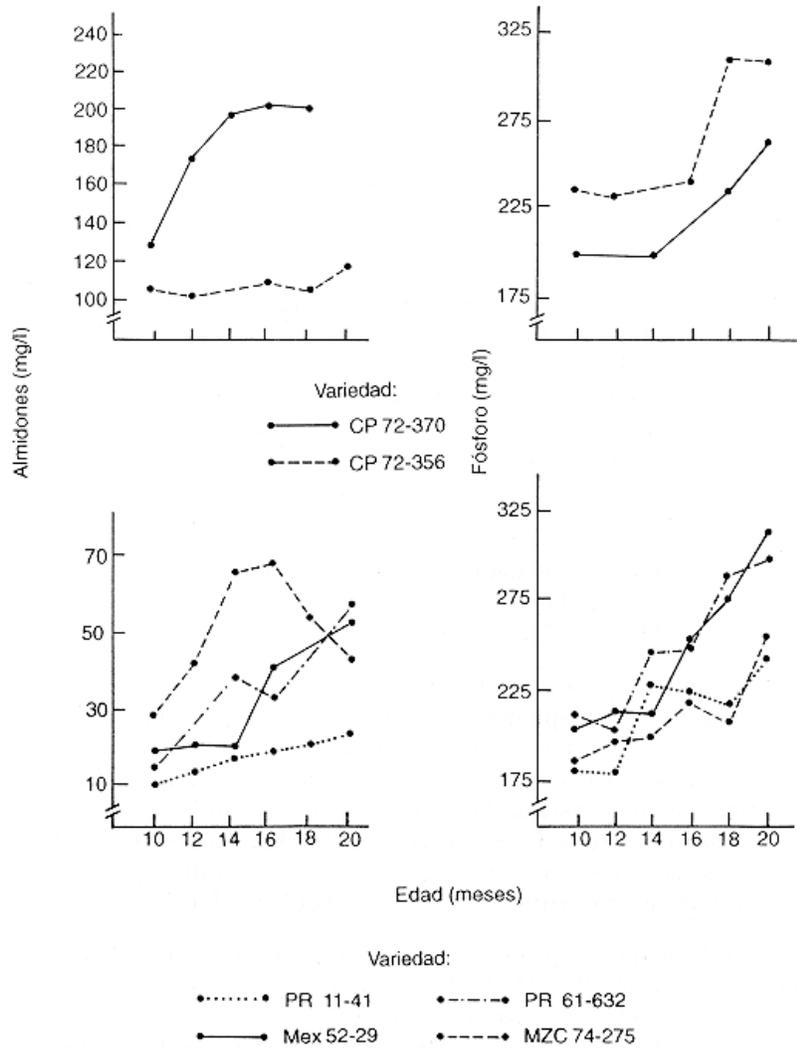


Figura 3. Variaciones en el contenido de almidones y fosfatos durante el desarrollo vegetativo de seis variedades de caña de azúcar. Valle del Cauca, Colombia.

Cuadro 1. Cambios en la composición química de los jugos de seis variedades de caña de azúcar (segundo corte) en diferentes períodos del año. Valle del Cauca, Colombia.

Variedad ^a	Almidones			Polisacáridos			Fenoles ^b			Amino-nitrógenos ^c			K			P		
	(mg/l)			(mg/l)			(mg/l)			(mg/l)			(% brix)			(mg/l)		
	Abr.	Oct.	Dic.	Abr.	Oct.	Dic.	Abr.	Oct.	Dic.	Abr.	Oct.	Dic.	Abr.	Oct.	Dic.	Abr.	Oct.	Dic.
CP 72-370	290	160	138	1.17	0.79	0.74	840	782	712	325	226	158	1.32	1.37	1.51	202	206	233
CP 72-356	84	52	61	0.72	0.60	0.54	686	636	590	219	90	108	1.27	1.43	1.48	225	224	257
MZC 74-275	59	46	34	0.52	0.47	0.47	627	579	560	162	108	54	1.00	1.10	0.95	175	213	176
Mex 52-29	41	28	27	0.59	0.45	0.54	573	519	535	224	156	115	1.32	1.32	1.51	201	232	262
PR 61-632	53	37	28	0.51	0.40	0.40	594	560	585	262	176	130	1.09	1.08	1.07	218	212	208
PR 11-41	23	19	14	0.50	0.43	0.35	506	495	416	252	158	105	1.48	1.62	1.74	194	225	222
Promedio	92	57	50	0.67	0.52	0.51	638	595	566	241	170	112	1.29	1.32	1.38	202	219	226

Precipitación (mm): abril = 15.2; octubre = 108.2; diciembre = 140.0

- Cosechadas en 1988 entre 10 y 20 meses.
- Promedio equivalente en ácido cafeico.
- Promedio equivalente en ácido glutámico.

Cuadro 2. Promedio de azúcar recuperable estimado (ARE, % caña) en la plantilla y primera soca de seis variedades de caña de azúcar, cosechadas entre 10 y 20 meses de edad, en diferentes períodos del año. Valle del Cauca, Colombia.

Variedad ^a	Plantilla cosechada en: ^b			Primera soca cosechada en:		
	Mayo	Septiembre	Noviembre	Abril	Octubre	Diciembre
CP 72-370	10.15	12.79	11.25	11.23	10.25	9.42
CP 72-356	9.73	12.38	11.35	10.33	9.80	9.85
MZC 74-275	10.70	12.17	11.64	11.29	10.93	10.50
Mex 52-29	9.18	11.03	9.50	9.41	9.40	8.48
PR 61-632	7.40	10.50	9.89	10.11	9.70	9.85
PR 11-41	8.15	11.10	9.64	9.10	9.12	7.67
Promedio	9.22	11.66	10.54	10.28	9.87	9.15
Precipitación ^c	199	31	241	15.2	108	140

- a. Cosechada durante 1986.
- b. Cosechada durante 1988.
- c. Precipitación acumulada (mm) antes del corte.

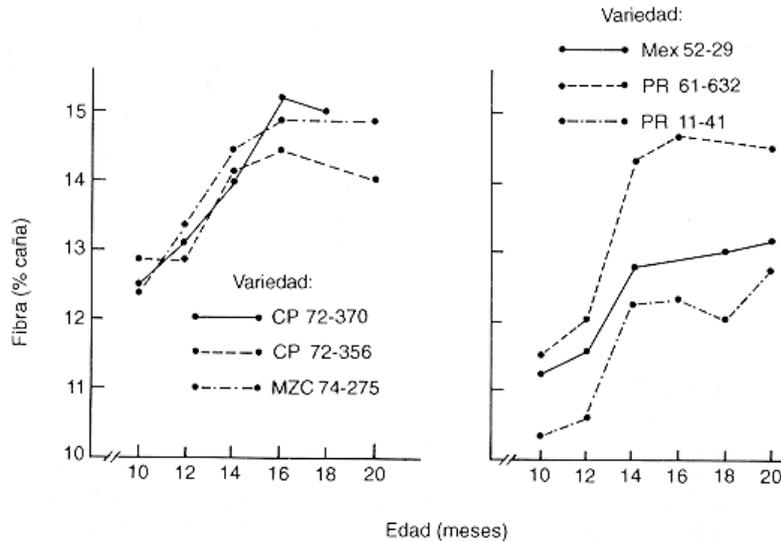


Figura 4. Variaciones en el porcentaje de fibra según la edad de las variedades CP 2370 y 72-356, MZC 74-275, Mex 52-29, PR 61-632 y 11-41, cultivadas en un suelo arcillo-limoso de la serie Manuelita, valle del Cauca, Colombia.

Cuadro 3. **Promedios del contenido de carbohidratos en los jugos de caña de azúcar de seis variedades, cosechadas entre los 10 y 20 meses de edad. Valle del Cauca, Colombia.**

Variedad	Sacarosa (% HPLC)*	Glucosa (% HPLC)	Fructosa (% HPLC)	Polisacáridos solubles (mg/ml)	Almidones (mg/l)
CP 57-603	18.9 a**	0.26 cd	0.25 d	0.64 a	150 a
Mex 68-808	17.7 b	0.33 b	0.34 ab	0.45 b	90 c
Mex 64-1487	17.4 bc	0.29 bc	0.28 cd	0.43 b	56 d
Mex 68-200	16.5 cd	0.23 d	0.23 d	0.63 a	107 b
V 71-51	16.3 d	0.28 bcd	0.30 bc	0.43 b	40 e
Mex 64-1214	15.3 e	0.43 a	0.39 a	0.44 b	55 d

* HPLC = "High performance liquid chromatography"

** Valores promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no difieren en forma significativa ($P < 0.05$), según la prueba de Duncan.

Cuadro 4. **Rendimientos (%), fibra (%) y concentración de productos no-sacarosos en los jugos de seis variedades de caña cosechadas en el estado de máxima maduración.**

Variedad	Edad (meses)	Rendimiento (%)	Fibra (% caña)	Concentración de productos no-sacarosos (mg/l)			
				Polisacáridos solubles	Almidones solubles	Fenoles ^a	Amino- nitrógenos ^b
CP 57-603	18	12.3	15.5	780	220	680	97
Mex 68-808	20	11.7	14.0	470	110	651	155
Mex 64-1487	20	11.6	13.4	442	61	981	93
Mex 68-200	16	10.7	14.5	643	93	868	149
V 71-51	18	11.5	14.5	520	51	845	83
Mex 64-1214	18	10.1	13.4	520	74	724	113

a. Concentración equivalente en ácido cafeico.

b. Concentración equivalente en ácido glutámico.

contenido de almidones en los jugos, a medida que la edad de las plantas aumentó, especialmente en las variedades CC 83-25 y 83-29 y CP 57-603. Por otra parte, los precursores de color (fenoles y amino-nitrógenos) durante la maduración de las variedades CENICAÑA siguieron un patrón similar al encontrado con las variedades comerciales CP 57-603 y MZC 74-275, reconocidas en la industria azucarera por su buena calidad de jugos y generación, bajo condiciones normales, de azúcar comercial con buen color.

Cuadro 5. **Variaciones en el rendimiento, contenido de sacarosa y polisacáridos totales de los jugos de cinco variedades CENICAÑA Colombia (en Plantilla), cosechadas en diferentes épocas del año a la edad de 12 meses. Estación Experimental de San Antonio, CENICAÑA, Valle del Cauca.**

Variedad	Rendimiento (%)			Sacarosa % HPLC			Polisacáridos (mg/ml)		
	Junio ^a	Diciembre ^a	Febrero ^b	Junio	Diciembre	Febrero	Junio	Diciembre	Febrero
CC 8228	12.5	6.8	12.2	18.4	12.9	21.0	0.33	0.29	0.41
CC 8204	10.3	11.5	11.3	19.4	19.4	19.4	0.42	0.50	0.56
CC 8307	10.1	10.7	12.9	17.6	18.0	21.6	0.32	0.33	0.49
CC 8325	10.8	10.4	11.8	18.5	17.8	20.4	0.40	0.38	0.60
CC 8329	11.5	10.5	11.4	19.4	17.5	19.4	0.50	0.39	0.50
CP 57603	10.9	10.3	11.6	17.6	17.5	19.8	0.39	0.35	0.47
Promedio	11.0	10.0	11.9	18.5	17.2	20.3	0.39	0.37	0.50
Precipitación (mm) ^c	31	150	30	31	130	30	31	150	30

a. Junio y diciembre de 1990.

b. Febrero de 1991.

c. Precipitación mensual (mm) acumulada antes del corte.

Métodos para Determinar el Grado de Maduración

La determinación del momento adecuado para el corte de la caña, que corresponda a la máxima maduración o acumulación de sacarosa, determina en parte los rendimientos de azúcar. Existen varios métodos, que se basan en el contenido de humedad de los tejidos jóvenes, para determinar este momento. Clements, citado por Buenaventura (1986), desarrolló un método que consiste en el muestreo de yaguas de las hojas 3 a 6. Con este método se ha encontrado una alta correlación entre el porcentaje de humedad en estas yaguas y la concentración de sacarosa en el tallo. Con base en estos hallazgos, Clements propuso para Hawaii un programa de maduración consistente en disminuir el suministro de agua de riego, de tal forma que la humedad en las yaguas que 7 meses antes del corte es de 82%, se reduzca a 74% en la época de cosecha. Por otra parte, Humbert (1970) diseñó un método que se basa en el contenido de humedad de los entrenudos 8 a 10, encontrando una correlación significativa entre el descenso de la humedad en esta sección del tallo y el incremento en sacarosa. También se ha encontrado una buena correlación entre el descenso de humedad en la hoja más joven de la planta, denominada «hoja bandera», y la recuperación de azúcar, cuando este tejido se usa como indicador del grado de maduración (TECNICAÑA, 1986).

Otros métodos para conocer el grado de maduración de la caña se basan en la determinación en laboratorio, 3 ó 4 meses antes de la cosecha, de la sacarosa y los azúcares reductores presentes en el jugo y las relaciones entre ellos. En este sentido se ha encontrado que a medida que la caña madura, el contenido de sacarosa se incrementa, en tanto que los azúcares reductores disminuyen, siendo posible elaborar a partir de estos datos las curvas o gráficas de maduración para una determinada variedad (SASTA, 1977).

Visiva y Kasinath (citados por Humbert, 1970) encontraron que la determinación, con refractómetro de mano, del brix en los entrenudos superiores e inferiores del tallo y la relación entre ellos es un buen indicativo del grado de maduración de la caña. Este método, conocido con el nombre de índice de maduración, aún se usa. Una forma práctica para determinar la maduración con el refractómetro consiste en calcular la relación entre el brix del tercio superior y el de tercio inferior del tallo. Cuando la caña está inmadura, esta relación es menor de 1; pero cuando el valor es cercano a 1, la caña se considera adecuada para cosecha o corte.

Con el fin de evaluar los índices de maduración y determinar un método confiable y efectivo para la industria azucarera colombiana, CENICAÑA en colaboración con el Ingenio Central Castilla, realizó una serie de evaluaciones con las variedades comerciales CP 57-603 y POJ 28-78. En ellas se determinaron:

- la humedad de las yaguas en las hojas 3 a 6;
- la humedad de los entrenudos 8 a 10;
- la humedad de la hoja 0 (no abierta, “hoja bandera”); y
- el brix de los tercios inferior, medio y superior del tallo.

En cada variedad, las muestras de los tejidos respectivos se recolectaron cada mes, entre 10 y 15 meses de edad de la planta. Los resultados obtenidos para cada índice de maduración se correlacionaron con el contenido de azúcar recuperable (ARE, % caña). Los coeficientes de correlación encontrados se incluyen en el Cuadro 6, donde se observa que las mejores correlaciones en ambas variedades se obtuvieron con el brix refractométrico en los tercios medio e inferior del tallo. La Figura 5 muestra la relación entre el ARE (% caña) y el brix de la sección media. En el mismo estudio se encontró que la correlación entre la humedad de las yaguas y de los entrenudos fue baja, y que entre el ARE (% caña) y la humedad de la hoja no existió correlación.

Las medidas del brix, que se hacen en el campo con el refractómetro de mano en los tercios medio e inferior de los tallos, son sencillas, fáciles de realizar y tienen buena precisión en la determinación del grado de maduración. Por lo tanto, este método podría adoptarse para conocer el índice óptimo de maduración en aquellos casos donde por el costo y las dificultades, no se dispone de un servicio analítico completo de calidad de la caña.

Cuadro 6. **Coefficientes de correlación entre el ARE (% caña) y los índices de maduración de la caña de azúcar determinados a partir del brix y de la humedad (%). Valle del Cauca, Colombia.**

Variedad	Brix (%) en sección del tallo:				Porcentaje de humedad en:	
	Superior	Media	Inferior	Promedio	Entrenudo 8 a 10	Yaguas 3 a 6
CP 57-603	0.25	0.87	0.80	0.52	-0.57	-0.55
POJ 2878	0.72	0.88	0.84	0.86	-0.27	-0.55

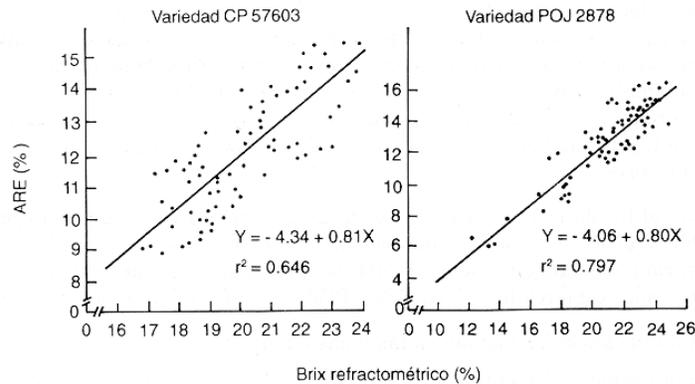


Figura 5. *Relación entre el brix refractométrico de la sección media de los tallos de caña de azúcar y el ARE en dos variedades de caña. Valle del Cauca, Colombia.*

Referencias

- Buenaventura O., C. E. 1986. Control de maduración de la caña de azúcar. En: El cultivo de la caña de azúcar, Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Memorias de un curso dictado en Cali, julio 28-agosto 1, 1986. p. 299-307.
- CENICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). 1984. Control de maduración y calidad de la caña de azúcar. En: Informe Anual del Programa de Agronomía 1984. Cali, Colombia. p. 73-74.
- Chen, W. 1968. A study of the role of starch in the growth of sugar cane and the manufacturing of cane sugar. Intern. Soc. Sugar Cane Techn. (ISSCT). Proceedings 13:351-361.
- Cock, J.; Luna, C. A.; y Palma, A. 1993. El clima y el rendimiento en caña de azúcar. En: Foro sobre avances técnicos en el sector azucarero colombiano. Resúmenes. Octubre 6 a 7 de 1993. Centro de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA). Serie técnica no. 12. 70 p.
- Deuer, R. 1988. Maduração da cana-de-açúcar na região sudeste do Brasil. En: Seminario de Tecnología Agronómica, 4, Piracicaba. Anais. Copersucar, São Paulo. p. 33-40.
- Glasziou, K. T. y Gayler, K. R. 1972. Storage of sugars in stalks of sugar cane. Bot. Rev. 38(4):471-490.
- Humbert, R. P. 1970. El cultivo de la caña de azúcar. Traducido por Alfonso González. 2a. Edición. México. p. 503-562.
- Imrice, F. K. y Tilbury, R. H. 1972. Polysaccharides in sugar cane and its products. Sugar Technol. Rev. 1:291-361.
- Larrahondo, J.E. y Torres, J. S. 1990. Características químicas de variedades promisorias de caña de azúcar en Colombia. Ann. Asoc. Quím. Argent. 78(6):347-353.
- _____; Yang, S.; y Villegas, F. 1989. Chemical and ripening characteristics of sugar cane in Colombia. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologist (ISSTC), 20th, São Paulo, Brasil. p. 591-598.
- Martin, J. R.; Gálvez, G.; De Armas, R.; Espinosa, R.; Vigoa, R.; y León, A. 1987. La caña de azúcar en Cuba. 1a. Ed. Editorial Científico-Técnica La Habana. La Habana, Cuba. 612 p.
- Meade, G. P. y Chen, J. P. 1977. Cane sugar handbook. 10 Ed. Wiley-Interscience Publications, John Wiley and Sons, Nueva York. 947 p.
- SASTA (South African Sugar Technologists' Association). 1977. Laboratory manual for South African sugar factories. 2a. Ed. Durban, Suráfrica. s.p.
- Shoji, K. y Samuels, G. 1976. A study of declining sucrose yields in Puerto Rico. International Society of Sugar Cane Technologist (ISSCT). Proceedings. 12:467-473.
- TECNICAÑA (Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar). 1986. El cultivo de la caña de azúcar. Cali, Colombia. 473 p.

Uso de Madurantes

Fernando Villegas T. y Jorge Arcila A.*

Cuando las condiciones naturales no son favorables para la maduración de la caña de azúcar, es posible inducirla aplicando productos químicos conocidos como madurantes.

Un madurante es un compuesto orgánico que aplicado en pequeñas cantidades, inhibe, fomenta o modifica de alguna forma, procesos fisiológicos de la planta (Arcila, 1990). En caña de azúcar, estos compuestos actúan como reguladores de crecimiento que favorecen la mayor concentración de sacarosa.

Los reguladores de crecimiento pueden afectar la maduración, ya sea mediante la inhibición del crecimiento sin afectar la fotosíntesis, o actuando sobre las enzimas que catalizan la acumulación de sacarosa; la maduración es un proceso cuyo resultado es un balance entre la fotosíntesis y la respiración (Nickell y Takahasi, 1972; Rugai y Notoa, 1979; Yates y Bates, 1958).

Breve Historia de los Madurantes

Desde 1920, se viene investigando sobre el uso de madurantes no sólo en caña de azúcar, sino también en cultivos de soya, maíz, piña y sorgo. Una de las prácticas más antiguas, utilizada para aumentar el contenido de sacarosa, consiste en reducir el área foliar cortando varias hojas de la planta, técnica que actualmente no se practica (Arcila, 1986).

En los trabajos de investigación, tanto en la época de crecimiento como en la de maduración, se han evaluado varias técnicas y productos químicos. Las técnicas ensayadas en la época de crecimiento incluyen principalmente la fertilización con macro y micronutrientes y el uso de enmiendas en el suelo como la cal y la materia orgánica. Para inducir la maduración se han ensayado el control de la humedad, la deficiencia provocada de N, y la modificación del balance de nutrientes en la planta. También se han ensayado la reducción de la actividad fotosintética, la inhibición de la respiración y el uso de defoliantes (Arcila, 1986).

El uso de productos químicos para mejorar la calidad de los jugos de la caña, ha sido evaluado principalmente en aquellas zonas donde las condiciones climáticas de temperatura y precipitación no favorecen la maduración natural (Buenaventura y Yang, 1984). Los primeros ensayos con madurantes se realizaron en Hawái, Cuba, India y Australia, utilizando 2,4-D, ácido giberélico y TBA (2,3, 6-Triclorobenzoico) sin que se encontraran resultados significativos en el aumento

* Fernando Villegas es Ingeniero de Mecanización Agrícola del Programa de Agronomía de CENICAÑA. Jorge Arcila es Ingeniero Agrónomo, jefe del Departamento de Agronomía del Ingenio Central Castilla.

del contenido de sacarosa (Azzi et al., 1978; Chacravarti et al., 1956; Coleman et al., 1960). En Barbados tampoco encontraron efectos significativos por el uso de varios compuestos en el mejoramiento de la calidad de la caña, entre ellos: sulfato y nitrato de cobre, nitrato de zinc, glicerol, etanol, fluoruro de sodio; 2,4-D; y 2,4,5-T (Arcila, 1986).

A partir de 1970 aparecieron varios compuestos que han dado buenos resultados como madurantes. Los más importantes son Ethrel, Asulox, Embark, Polaris, Polado y Roundup, que se han utilizado con éxito en Hawaii, Mauricio, Florida, Louisiana, Puerto Rico, Brasil y Suráfrica.

Los compuestos evaluados a nivel mundial que han mostrado los mejores resultados son Polaris o glifosina (N-N-bisfosfometil-glicina); Polado (sal sódica de glifosato); Roundup (sal isopropilamina de glifosato) y Ethephon o Ethrel.

El Roundup se utiliza generalmente como herbicida, pero también se puede aplicar como madurante en caña. En varias regiones tropicales, este producto ha mostrado un mejor efecto en la maduración que la glifosina (Clowes, 1980; Eastwood, 1976; Julien, 1977). Los incrementos en azúcar recuperable se comienzan a detectar 2 semanas después de la aplicación del Roundup, obteniéndose las respuestas más consistentes a las 6 semanas (Clowes, 1978). Por otra parte, Clowes (1980) y Mill (1980) en Suráfrica encontraron que el Polado y el Roundup produjeron efectos similares cuando se aplicaron en dosis de 1.0 y 0.67 kg/ha de ingrediente activo (i.a.) respectivamente; siendo el aumento en sacarosa entre 2.7% y 8.0%. Es importante señalar que las aplicaciones comerciales de Roundup no han mostrado efectos negativos en la producción de las socas posteriores.

Objetivos de la Maduración Química

Los objetivos básicos de un programa de maduración química son: (1) obtener la máxima recuperación posible de azúcar; (2) estabilizar el contenido de azúcar; (3) obtener una ganancia adicional en un período de tiempo corto, sin deteriorar el cultivo; y (4) reducir la duración del período vegetativo entre cosechas.

Para lograr estos objetivos es necesario sincronizar el programa de maduración química con el calendario de cosechas en cada ingenio, evaluar la respuesta de las diferentes variedades comerciales a los madurantes y escoger las épocas más adecuadas para la aplicación del producto.

Evaluación de Madurantes en Colombia

Desde 1976 se han venido realizando en Colombia ensayos con madurantes químicos en caña. A partir de 1981, el Centro de Investigación de Caña de Azúcar de Colombia (CENICANA) inició una serie de ensayos a nivel semicomercial y de microparcels en varios ingenios, en condiciones distintas y con variedades diferentes. En los primeros se evaluó el efecto del Ethephon (Ethrel) y el glifosato (Roundup) sobre la calidad de los jugos, aplicados en varias dosis y en épocas

diferentes. Los resultados de este estudio fueron satisfactorios, y a partir de 1983 el Ingenio Risaralda adoptó esta tecnología como una labor de cultivo. Posteriormente, otros ingenios la han adoptado y durante 1992 se aplicó en 62,000 ha sembradas con caña en los valles de los ríos Cauca y Risaralda (Villegas y Torres, 1993).

Las primeras investigaciones se orientaron hacia la evaluación de productos como Roundup y Ethrel. Inicialmente se buscó elevar los rendimientos de las variedades PR 12-48, PR 61-632, Co 421 y POJ 28-78, principalmente en zonas de alta precipitación o con nivel freático alto, condiciones poco favorables para la maduración. En estos estudios, los resultados obtenidos con Roundup superaron a los logrados con Ethrel. Posteriormente, las evaluaciones se hicieron con variedades de buena producción de azúcar como CP 57-603, cultivadas en condiciones naturales más adecuadas, obteniéndose también excelentes resultados. En la Figura 1 se observa la respuesta de un grupo de variedades a la aplicación de diferentes dosis de Roundup; en este caso, los incrementos en el azúcar recuperable estimado (ARE) variaron entre el 5% y el 26%.

El efecto de la aplicación de Roundup en caña de azúcar se observa a partir de la tercera semana, pero la mayor respuesta ocurre entre 6 y 8 semanas. Sin embargo, este efecto persiste hasta 12 ó 14 semanas después de la aplicación, dando un margen de tiempo suficiente para la cosecha sin que se presenten efectos negativos en el rendimiento. No obstante, se han observado algunas

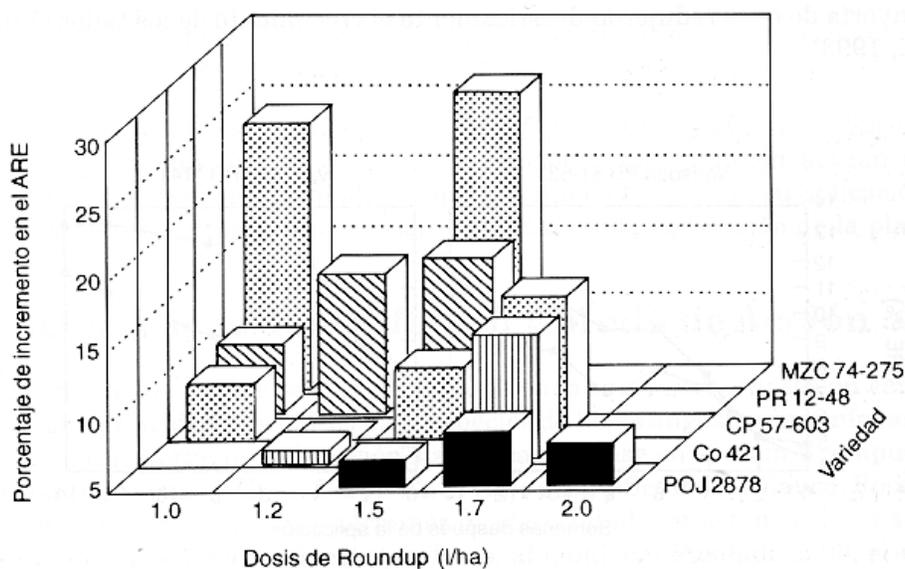


Figura 1. Porcentaje de incremento relativo en el azúcar recuperable estimado (ARE) de cuatro variedades de caña que recibieron la aplicación de diferentes dosis de Roundup, en relación con el testigo sin aplicación.

diferencias entre variedades en cuanto a la respuesta a los madurantes (Figura 2).

Cuando el Polado y el Polaris aparecieron en el mercado nacional como madurantes, se evaluaron en experimentos semicomerciales. En estos ensayos, la mejor respuesta se encontró con el primero de ellos, siendo similar a la obtenida con Roundup, cuando se aplicaron en dosis equivalentes de ingrediente activo.

Con el propósito de encontrar nuevos madurantes químicos con efectos similares o mejores a los de Roundup, y que además fueran selectivos, estabilizaran por mayor tiempo el ARE y resultaran más económicos, CENICAÑA evaluó los siguientes productos y sus dosis respectivas (en paréntesis): Galant (0.375 y 0.5 lt/ha), Fusilade (0.2, 0.4, 0.5, 0.7 y 1.0 lt/ha), Ethrel (1.0 y 2.0 lt/ha), Assure (0.8, 1.25 y 1.3 lt/ha), Furore (1.0 y 1.5 lt/ha) y RH 0898 (0.2 kg/ha); además, se incluyó Roundup (1.0, 1.3, 1.5, 2.5 lt/ha) como control. Estos productos se aplicaron a las variedades: CP 72-356 y 72-370, Mex 52-29, 64-1487, 68-200 y 68-808, MZC 74-275, PR 11-41 y 61-632 y V 71-51, cultivadas en el valle geográfico del río Cauca.

Los efectos más consistentes se encontraron con Roundup. Cuando este producto se usó en dosis entre 1.0 y 1.5 lt/ha, incrementó en forma significativa el ARE (azúcar recuperable estimado) entre 6 y 14 semanas después de la aplicación. Aunque otros productos comerciales como Fusilade (0.5, 0.7 y 1.0 lt/ha), Assure (0.8 y 1.3 lt/ha), Furore (1.0 y 1.5 lt/ha) y Galant (0.5 lt/ha) mostraron, en algunos casos, efectos madurantes en caña de azúcar iguales o superiores a los de Roundup, los resultados no fueron consistentes a través del tiempo ni su efecto fue similar en las diferentes variedades. En forma adicional, la mayoría de ellos redujeron drásticamente el crecimiento de los tallos (Villegas et al., 1990).

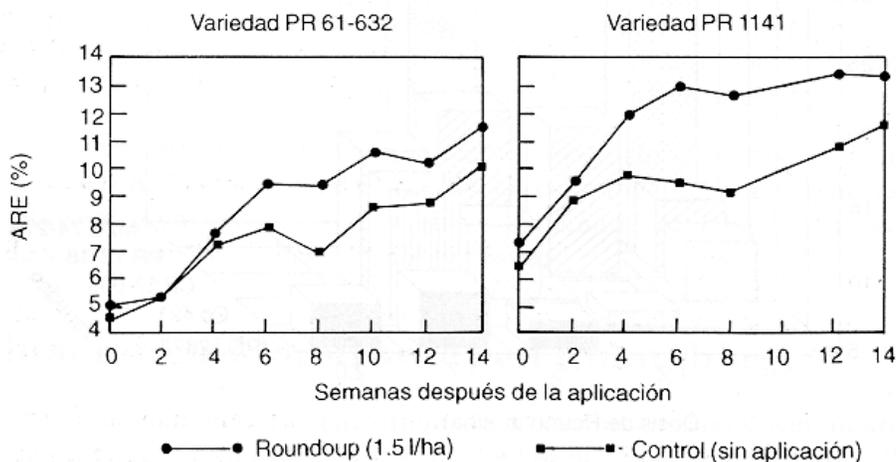


Figura 2. Respuesta de las variedades de caña PR 61-632 y 1141 a la aplicación de Roundup (1.5 lt/ha) a los 10 meses de edad, bajo condiciones similares de suelo y clima.

Uso de Madurantes

Entre 1991 y 1993, CENICAÑA evaluó 12 productos nuevos —siete madurantes, un desecante, dos defoliantes y dos antiderivantes—. Los madurantes y las dosis aplicadas (en paréntesis) fueron: Bualta (5.0, 7.5, 10.0 y 15.0 lt/ha), Fervinal (1.0 y 1.5 lt/ha), Ansar (1.0 y 1.5 lt/ha), Moddus 250 ME (0.8, 1.5, 1.6, 2.0 y 2.4 lt/ha), Furore (0.7 y 1.0 lt/ha), Faena 320 (2.6 lt/ha), Select 2EC (0.7 y 1.0 lt/ha), y la mezcla Roundup más Bualta (1.0 + 1.5 lt/ha). Estos productos se compararon con Roundup (1.0, 1.3 y 1.5 lt/ha) y Fusilade (0.7 y 1.0 lt/ha). Además, en una de las pruebas se incluyó un control sin madurante para comparar los incrementos en el ARE (% caña) alcanzados con los diferentes productos.

Entre estos productos, Moddus 250 ME (1.6 lt/ha) y Select (1.0 lt/ha) selectivos para cultivos de hoja ancha, produjeron incrementos significativos en el ARE, en comparación con el control y, en algunos casos, dieron resultados similares o ligeramente superiores a los obtenidos con Roundup y Fusilade 2000 (Villegas, 1992).

De otra parte, se encontró que Fusilade 2000 fue el producto que más restringió el crecimiento de los tallos, mientras que Moddus y Select tuvieron un mayor efecto sobre los tallos que Roundup; pero se debe tener en cuenta que este efecto depende no sólo del producto y su dosificación, sino también de las condiciones de cultivo desde la aplicación del producto hasta la cosecha.

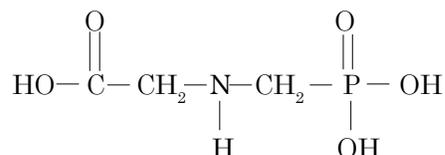
Como desecante se evaluó Basta (1.0 y 2.0 lt/ha), un herbicida de contacto no selectivo. Este producto causó necrosis y posteriormente secamiento de las hojas sólo en los sitios de aplicación, sin que se translocara por los tejidos de la planta. En forma adicional, el efecto «sombrija» que las hojas superiores tienen sobre las inferiores, evitó que estas últimas recibieran el producto y por consiguiente no mejoró la práctica de la quema, a la vez que no se observó un efecto colateral en el incremento del ARE (% caña).

Como defoliantes se evaluaron Dropp (0.5 y 1.0 lt/ha) y Harvade Plus (1.0 y 2.0 lt/ha), productos que se utilizan en algodón y que también actúan como reguladores del crecimiento en otras especies. Sin embargo, con su aplicación no se encontraron resultados positivos en el ARE ni en la defoliación de la planta.

Características del Glifosato y Modo de Acción

La mayoría de los productos que se han evaluado como madurantes en caña de azúcar son herbicidas específicos para especies de hojas angostas (gramíneas), de aplicación postemergente y de acción sistémica con base en asulam y compuestos del grupo oxifenoxidos (Cruz, 1990). En el valle geográfico del río Cauca, Roundup presenta buenos resultados en términos de efectividad, persistencia de su actividad y economía. Hasta 1993, este producto, al igual que Fusilade 2000, eran los únicos registrados como madurantes en caña de azúcar en Colombia; por esta razón se presentan a continuación algunas características importantes del primero de ellos.

La molécula de glifosato N (fosfonometil) glicina, el ingrediente activo de Roundup, está relacionada con la glicina, el aminoácido esencial más simple que existe, siendo su fórmula estructural la siguiente:



Mecanismo de acción

El ingrediente activo de glifosato penetra en el follaje y se trasloca por el simplasto (tejido vivo de la planta), junto con los productos de la fotosíntesis, y se acumula en los meristemos, principalmente en el punto de crecimiento. La hipótesis más aceptada considera que el glifosato inhibe la acción de dos enzimas, la mutasa corísmica y la deshidratasa prefénica, que intervienen en la síntesis del ácido coríasmico el cual es, a su vez, precursor de tres aminoácidos exclusivos que solamente sintetizan las plantas: el triptofano, la tirocina y la fenilalanina. Se ha demostrado también que el glifosato actúa sobre la enzima invertasa ácida, necesaria para desdoblar la sacarosa en glucosa y fructosa que intervienen directamente en el crecimiento de la planta. El ingrediente activo de glifosato (Roundup) parece reducir los niveles de invertasa ácida en cañas tratadas y, por consiguiente, también disminuye los niveles de glucosa y fructosa. Como resultado de lo anterior, menos sacarosa se desdobla para crecimiento y se almacena en las células, principalmente en las del tercio superior del tallo. En consecuencia, la inhibición de la síntesis de estos tres aminoácidos, de los ocho que sintetizan las plantas, es la base de la toxicidad diferencial de Roundup entre éstas y los animales.

Comportamiento en el suelo

En el suelo, la molécula de glifosato se comporta como un catión. Debido a sus cargas positivas se fija fuertemente en las partículas coloidales —arcillas y materia orgánica— cargadas negativamente que impiden su lixiviación. Simultáneamente ocurre un proceso de degradación por parte de los microorganismos que descomponen el ingrediente activo en compuestos naturales simples como agua, CO₂, N y fósforo. Se considera que el Roundup se biodegrada totalmente entre 60 y 90 días después de entrar en contacto con el suelo.

Solubilidad

Es altamente soluble en agua (20,000 mg/kg de agua). Las soluciones preparadas son, por consiguiente, estables y permanecen uniformes por largo tiempo después de su preparación.

Volatilidad

No es volátil y no produce vapores que puedan afectar plantas próximas. Sin embargo, puede ocurrir dispersión de gotas finas por el viento, especialmente

cuando se utilizan boquillas de baja descarga y presiones altas. Para evitar lo anterior, se recomienda hacer las aplicaciones aéreas en las primeras horas del día, de acuerdo con las recomendaciones vigentes del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Toxicidad

En los países que utilizan cuatro categorías de toxicidad para los productos químicos, el Roundup se clasifica en la cuarta, que corresponde al grupo de pesticidas menos tóxicos.

Dosis de Madurantes y Volúmenes de Mezcla en Aplicaciones Comerciales

En general la dosis se expresa como cantidad de producto químico por unidad de superficie (lt/ha ó kg/ha) y, ocasionalmente, se usa el porcentaje de concentración de la solución. El volumen total que se aplica puede variar de acuerdo con el modo de acción del producto y el objetivo que se busca con la aplicación, en este caso la maduración de la caña de azúcar.

Aunque en las aspersiones de productos concentrados se requiere una atomización fina para obtener una distribución adecuada, las gotas deben ser lo suficientemente grandes para lograr una concentración satisfactoria en el follaje. El tamaño de las gotas es un factor importante en los estudios sobre el efecto de los herbicidas en el follaje. El daño es menor cuando disminuyen el tamaño de éstas y la cantidad de ingredientes fitotóxicos aplicados por hectárea. El área del follaje que se debe cubrir por hectárea determina, hasta cierto punto, el volumen de aspersión requerido. Sin embargo, la cantidad de mezcla depende también del grado de atomización producido por el equipo de aspersión. En consecuencia, mientras más fina sea la aspersión, menor será el volumen requerido para cubrir un área determinada de follaje, excepto si la aspersión es demasiado fina y produce poco depósito.

En aplicaciones aéreas es necesario emplear gotas de mayor tamaño debido a las condiciones adversas ocasionadas por los vientos, como corrientes ascendentes de aire por convección o capas de aire húmedo sobre las plantas. Para determinar el volumen de la mezcla —madurante + agua + adherente— por unidad de área, se debe tener en cuenta el estado de desarrollo del cultivo y el tipo ó formulación del producto que se quiere asperjar. En general, mientras mayor sea el volumen de mezcla que se aplique por unidad de área, mejor será el cubrimiento y, por lo tanto, mejores serán los resultados.

En Colombia, después de una década de estar haciendo aplicaciones comerciales de madurantes en caña de azúcar, las dosis de los productos y los volúmenes de la mezcla se han ajustado de acuerdo con los resultados de la investigación y las experiencias en los ingenios. En un principio, las dosis de Roundup variaron entre 1.5 y 2.0 lt/ha, y los volúmenes de la mezcla entre 36 y 48 lt/ha. Actualmente

se aplican entre 0.75 y 1.5 lt/ha del producto comercial y volúmenes de mezcla entre 5 y 20 lt/ha, dependiendo del tipo de aeronave y del equipo utilizado para la aspersión.

Las dosis del producto y los volúmenes de la mezcla se determinan con base en las condiciones siguientes: (1) estado de desarrollo del cultivo, (2) estado de volcamiento del cultivo, (3) tipo de suelo, (4) variedad, y (5) equipo de aplicación.

Factores que Afectan la Respuesta de la Planta al Madurante

Los rendimientos comerciales de un cultivo de caña de azúcar que ha recibido la aplicación de un madurante dependen de la variedad, el estado del cultivo en el momento de la aplicación, la dosis aplicada del producto comercial, el número de semanas transcurrido entre la aplicación y el corte, la edad y, de las condiciones del clima especialmente de la precipitación (Arcila, 1986; Villegas, 1992; Villegas y Buenaventura, 1990).

Variedad

Cada variedad responde en forma diferente a la aplicación de madurantes, dependiendo de su capacidad para concentrar azúcares asociada con factores de edad, clima y suelo, principalmente (Figura 3).

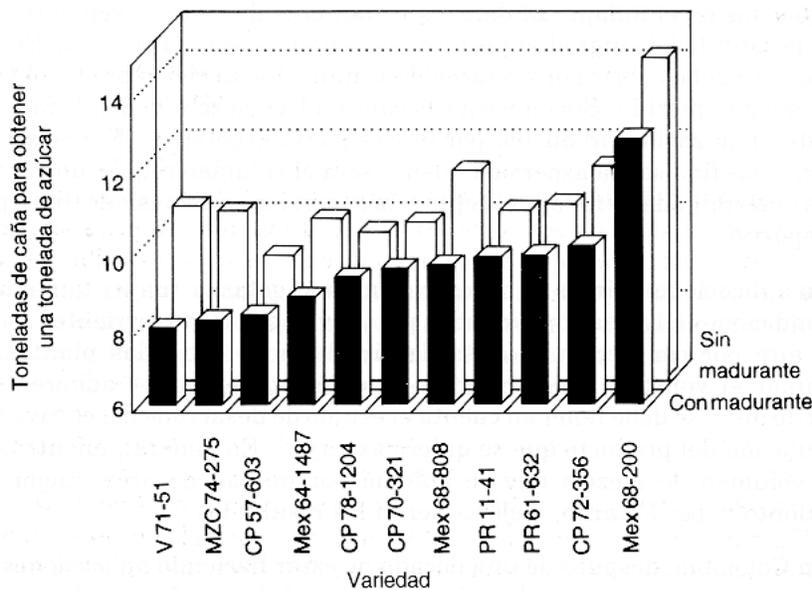


Figura 3. Toneladas de caña de diferentes variedades tratadas con madurante que es necesario moler para obtener una tonelada de azúcar.
FUENTE: Arcila, 1990.

Tonelaje de caña y estado del cultivo

La dosis de madurante varía de acuerdo con el tonelaje esperado y el área foliar del cultivo. En cultivos con buen tonelaje y un área foliar alta es necesario aplicar una dosis mayor de producto que la requerida en plantas erectas con menor tonelaje esperado.

Edad de la planta

La recuperación de sacarosa después de la aplicación del madurante depende de edad de la planta; una de las condiciones esenciales para alcanzar una respuesta positiva a la aplicación, consiste en hacerla al final de la etapa de crecimiento, un poco antes del inicio de la maduración fisiológica (Arcila, 1986). Por ejemplo, en la variedad MZC 74-275 el madurante se puede aplicar entre 10 y 11 meses de edad, o sea, 2 meses antes de la cosecha.

Tiempo entre la aplicación y el corte

El tiempo que debe transcurrir entre la aplicación del madurante y el corte del cultivo es variable entre las diferentes variedades de caña, por lo tanto, en cada zona se debe determinar este período de tiempo. En el valle geográfico del río Cauca, se ha encontrado con la mayoría de las variedades cultivadas a niveles experimental y comercial, que este rango se encuentra entre 6 y las 12 semanas después de la aplicación (Arcila, 1986; Villegas, 1992; Villegas y Buenaventura, 1990).

Precipitación

El aumento de la humedad en el suelo por la precipitación o el riego favorece el crecimiento de los tallos, y en estas condiciones la aplicación de madurantes favorece un mayor incremento de sacarosa, ya que ésta no se utilizará en los procesos de desarrollo; esto no indica que el máximo rendimiento posible que se puede obtener con el uso de madurantes se logra en los períodos de lluvias. En los períodos secos, las condiciones favorecen la maduración natural, e igualmente la aplicación de estos productos permite el máximo rendimiento posible; pero en este caso se debe tener especial cuidado en la dosificación, ya que las plantas se encuentran en condición de estrés por falta de agua (Villegas, 1992).

Otros factores que afectan la acción de los madurantes son: (1) El exceso de rocío en las hojas del cultivo al momento de la aplicación. (2) La intensidad de la luz solar. (3) La penetración del producto en el follaje, ya que en ocasiones las lluvias después de la aplicación pueden lavar el producto, impidiendo su acción efectiva. (4) El tipo de suelo, especialmente su capacidad de retención de humedad y la fertilidad, que determinan el desarrollo y el vigor del cultivo en el momento de la aplicación. (5) El grado de dispersión del producto por el viento. (6) La uniformidad en la aplicación.

Equipos para la Aplicación de Madurantes

La principal función de un equipo de aspersión es dividir un líquido en gotas de tamaño efectivo y distribuir las uniformemente sobre la superficie o espacio que se desea cubrir. Los equipos más utilizados consisten en aspersores “Micronairs” de boquillas o de atomizadores rotatorios adaptados a aeronaves de uso agrícola. Los más comunes en Colombia son: Piper Pawnee 235, Piper Pawnee 260, Piper Bravo, Cessna Ag. Wagon, Cessna Ag. Truck, Gruman Ag. Cat, Helicóptero Bell 47 y Helicóptero Bell 47 Soloy.

Para una aspersión efectiva y homogénea es importante la calibración precisa del equipo, con el objeto de asegurar el flujo adecuado durante la aplicación convencional. Para la calibración se puede utilizar el agua, ya que ésta es el medio de dilución utilizado con madurantes.

Cálculo del flujo

El flujo depende del volumen de la mezcla, la velocidad de la aeronave, la altura de vuelo respecto al follaje y del ancho efectivo de la franja de aplicación, que se pueden expresar con la ecuación siguiente:

$$F = \frac{D \cdot A \cdot V}{K} ;$$

donde :

F = flujo total requerido en litros/minuto, o galones/minuto;

D = volumen total a aplicar, en litros/ha o galones/ha;

A = ancho de la franja cubierta en cada pasada, en metros;

V = velocidad de vuelo, en km/hora o millas por hora;

K = valor de conversión. K = 373 si V está en millas/hora, y 600 si V está en km/hora.

Para calcular el flujo por boquilla o por micronair se divide el flujo total por el número de boquillas o de unidades (micronair) que tiene el equipo de la aeronave. Es importante tener en cuenta que sólo las aeronaves con bombas hidráulicas o electroimpulsadas se pueden calibrar en tierra, mientras que aquéllas con bombas impulsadas por el aire (bomba mecánica) se deben calibrar durante el vuelo.

En el Cuadro 1 se presentan los rendimientos de algunas aeronaves utilizadas para aplicaciones aéreas, y en los Cuadros 2 y 3 se observan los flujos de las boquillas de cono hueco y de micronair AU 5000, respectivamente.

Cuadro 1. **Area que cubre una aeronave (avión o helicóptero) en un minuto en aspersiones agrícolas, según su velocidad y el ancho de la franja de pasada.**

Velocidad de aplicación		Area cubierta (ha/minuto)						
Millas/h	Km/h	14	16	18	20	22	24	26
		Ancho de la franja (m)						
50	80.5	1.87	2.15	2.41	2.68	2.95	3.22	3.49
55	88.5	2.06	2.36	2.65	2.95	3.24	3.54	3.83
60	96.6	2.25	2.57	2.90	3.22	3.54	3.86	4.18
65	104.6	2.44	2.79	3.14	3.49	3.83	4.18	4.53
70	112.7	2.63	3.00	3.38	3.75	4.13	4.50	4.88
75	120.7	2.82	3.22	3.62	4.02	4.42	4.83	5.23
80	128.7	3.00	3.43	3.86	4.29	4.72	5.15	5.58
85	136.8	3.19	3.65	4.10	4.56	5.01	5.47	5.92
90	144.8	3.38	3.86	4.34	4.83	5.31	5.79	6.27
95	152.9	3.57	4.08	4.58	5.09	5.60	6.11	6.62
100	160.9	3.75	4.29	4.83	5.36	5.89	6.43	6.97
105	169.0	3.94	4.50	5.07	5.63	6.19	6.76	7.32
110	177.0	4.13	4.72	5.31	5.90	6.49	7.08	7.67
115	185.1	4.32	4.93	5.55	6.17	6.78	7.40	8.02
120	193.1	4.50	5.15	5.79	6.43	7.08	7.72	8.36

Cuadro 2. **Flujo de boquillas de cono hueco, utilizadas en la aplicación aérea de productos químicos.**

Boquilla Presión (psi) ^a	Flujo de cada boquilla (lt/min)			
	20	30	40	50
D 3-25	0.53	0.64	0.72	0.79
D 4-25	0.80	0.95	1.10	1.32
D 4-45	0.95	1.17	1.36	1.50
D 4-56	1.48	1.82	2.08	2.32
D 6-25	1.36	1.48	1.67	2.04
D 6-45	1.55	1.89	2.20	2.47
D 6-56	2.95	3.60	4.16	4.64
D 8-45	2.23	2.73	3.18	3.57
D 8-56	-	6.02	6.96	7.74
D 10-45	2.91	3.56	4.16	4.64
D 10-56	-	8.14	9.39	10.44
D 12-45	3.60	4.43	5.15	5.76

a. Presión de trabajo en el disco-rotor.

Cuadro 3. Flujo del “micronair” AU 5000 ó AU 5000-2, utilizados para la aplicación aérea de productos químicos.

Presión (psi) ^a	Flujo de cada unidad (l/min)		
	20	30	40
1	0.29	0.56	0.68
2	0.45	0.59	0.80
3	0.77	0.95	1.18
4	1.25	1.90	2.31
5	1.88	2.55	3.10
6	2.23	3.68	4.56
7	2.56	3.88	4.77
8	3.11	4.03	4.97
9	3.90	5.50	6.86
10	4.17	5.76	6.92
11	6.46	8.25	10.45
12	7.53	9.26	11.86
13	8.70	11.16	14.80
14	9.40	14.97	19.12

a. Presión de trabajo.

Calibración

Con una correcta calibración se logra la aplicación uniforme de la dosis de agroquímicos en el área a tratar. Si las boquillas y el equipo están en buen estado, la calibración se puede hacer de la forma siguiente:

1. Se estaciona la aeronave en una plataforma y se marca la posición de las ruedas o de los patines.
2. Se depositan 50 galones de agua en el tanque de la aeronave (avión o helicóptero).
3. Se adiciona un colorante (azul de metileno).
4. Se miden y demarcan 500 m sobre la pista o en un lote conocido.
5. Se coloca una cinta —similar a las que se utilizan en las máquinas sumadoras— atravesada sobre la zona anterior.
6. La aeronave decola y realiza la aspersión a la presión recomendada sobre la franja de 500 m.
7. Cuando la aeronave aterriza, se estaciona sobre las señales hechas previamente en el sitio de decolaje.
8. Se mide el volumen de agua remanente en el tanque y por diferencia se obtiene el volumen aplicado.

Uso de Madurantes

9. Se mide el ancho de cubrimiento del producto asperjado sobre la cinta.
10. Con estos datos es posible calcular el volumen real de la mezcla aplicado en el ancho de pasada con el fin de hacer el bandereo correcto en el lote.

Procedimientos para la Aplicación de Madurantes

Para la aplicación de estos productos en caña de azúcar se debe conocer primero el estado de maduración de la planta, para lo cual se toman muestras de tallos y se determinan el brix, el contenido de sacarosa y de azúcares reductores, y el rendimiento estimado. Si el cultivo presenta concentraciones de azúcares reductores entre 0.5% y 1.0%, es conveniente aplicar el madurante al final del período de desarrollo del cultivo y antes del inicio del período de maduración fisiológica, ya que si esto ha sucedido, la respuesta a la aplicación del madurante es menor.

Cuando se decide hacer la aplicación, se deben definir el día y la hora en que se hará, y las dosis del producto y del adherente de acuerdo con la variedad, la producción esperada y el estado del cultivo. En el campo, el bandereo de las «suertes» para evitar errores en la aplicación se hace después de calibrar el equipo, marcando las franjas de aplicación según la envergadura de la aeronave y de la altura a la cual vuela. Para el efecto, se usan bandas plásticas de colores que se colocan en forma visible sobre señales que sobresalen 1 ó 2 m por encima del cultivo; esta última labor se realiza 1 ó 2 días antes de la aplicación.

Se sugiere escoger en forma previa los sitios de aprovisionamiento de la aeronave, procurando que el agua utilizada sea de buena calidad. Durante la aplicación se debe utilizar un sistema de señalización confiable que le permita al piloto diferenciar las franjas que ya recibieron el producto de las que aún no lo han recibido.

Por disposición del ICA se requiere la presencia de un Ingeniero Agrónomo en el sitio en el momento de la aplicación, quien se encargará de coordinar el tanqueo de la aeronave y de medir las condiciones atmosféricas mínimas, mediante el empleo de instrumentos como anemómetro, higrómetro y termómetro; además, dispondrá de un radioteléfono para dar la orden de suspensión de la aplicación cuando las condiciones atmosféricas sean adversas (ICA, 1990).

Calidad de la Aplicación

La efectividad biológica de un producto químico depende de la oportunidad de la aplicación, de la especificidad del producto y de la calidad de la aplicación.

La calidad de la aplicación se mide por la cantidad de producto que se coloca sobre el objetivo (el follaje de la caña de azúcar). La cantidad de producto debe ser suficiente para lograr el efecto deseado y se debe distribuir sobre toda la superficie objeto de la aplicación. El número de gotas/cm² que llega al cultivo, así como su tamaño, determinan la efectividad biológica del tratamiento (GEYGY, s.f.).

En la aplicación de madurantes no se ha definido con exactitud cuál es el número óptimo de gotas/cm², ni el tamaño adecuado de las mismas para obtener la mayor respuesta; sin embargo, como norma general, se pueden emplear entre 10 y 20 gotas/cm² para productos sistémicos y un tamaño entre 300 y 400 micras, aunque actualmente se evalúa la posibilidad de aumentar el tamaño de la gota para evitar la deriva, sin disminuir la efectividad del producto.

Después de la quinta semana se recomienda inspeccionar la respuesta de la planta para evaluar la efectividad de la aplicación; es posible, en algunos casos, identificar algunos síntomas característicos, dependiendo de la dosis, la variedad y el tiempo transcurrido después de la aplicación. Por lo general, los últimos entrenudos que se forman son cortos; se presenta emisión de brotes laterales o lalas, provenientes de las yemas más cercanas al cogollo; hay amarillamiento de las hojas y, finalmente, éstas se secan en forma paulatina por efecto del producto.

Efectos de los Madurantes en la Producción

Con la aplicación de madurantes es posible incrementar hasta en un 25% la producción de azúcar, pero para que esto ocurra es necesario que el producto disminuya el ritmo de crecimiento de la planta, de tal forma que en el tallo se almacene una cantidad mayor de sacarosa. Entre el momento de la aplicación y 6 a 12 semanas después, las plantas que reciben dosis adecuadas pueden presentar un crecimiento entre 10 y 25 cm menor al que tendrían si no hubieran recibido dicha aplicación. Si lo anterior tuviera un efecto directo en la producción, se esperarían disminuciones entre 3% y 8% por efecto del madurante; sin embargo, se deben tener en cuenta factores como:

1. El mayor crecimiento de las plantas que no reciben madurantes se debe, en parte, al desarrollo del cogollo, el cual se deja como residuo en el campo al momento de la cosecha. Por el contrario, los cogollos de las plantas que reciben madurante son más pequeños.
2. El diámetro de los tallos de las plantas que reciben madurantes y su peso por unidad de longitud tienden a ser mayores, como resultado de la limitación en el crecimiento (Villegas y Torres, 1991).
3. El madurante incrementa de manera apreciable el contenido de sacarosa en el tercio superior del tallo, lo que justifica un corte más alto al momento de la cosecha. En plantas sin madurantes el contenido de sacarosa en esta parte del tallo es bajo.

Por las razones anteriores, el uso de madurantes no tiene por qué afectar la producción, siempre y cuando la eliminación del cogollo sea adecuada al momento de la cosecha, e inclusive se esperarían mayores producciones de caña cuando aquellos se aplican, si se tiene en cuenta que es mayor la cantidad de tallo útil que se puede cosechar para molienda (Villegas y Torres, 1993).

Uso de Madurantes

La altura de descogolle de la caña, independiente de la aplicación o no de madurante, la define el rendimiento en azúcar de los últimos entrenudos, o sea, los más cercanos al cogollo verdadero (tomado a partir del punto natural de quiebre). El rendimiento mínimo está determinado por la cantidad de azúcar que se pueda recuperar y que permita, por lo menos, cubrir los costos de corte, alce, transporte y procesamiento. Por ejemplo, si el costo de la cosecha y el transporte de una tonelada de caña equivale al precio comercial de 21 kg de azúcar, y los costos del proceso en fábrica y de las operaciones directas y complementarias para el manejo de la misma tonelada equivalen a 34.8 kg de azúcar, sería, en consecuencia, necesario recuperar 55.8 kg de azúcar por tonelada de caña molida para cubrir los costos mencionados; expuesto de otra forma, en el ejemplo aquí presentado no es rentable moler porciones del tallo con un rendimiento inferior a 5.6%.

En el Cuadro 4 se presentan los rendimientos para cada uno de los seis primeros entrenudos, contados a partir del punto natural de quiebre, en muestras de plantas de suertes comerciales. Si los datos en el Cuadro antes mencionado se relacionan con los costos en el ejemplo anterior, se observa que en el cultivo sin aplicación de madurante sería necesario descogollar dejando como residuo cinco entrenudos adheridos al cogollo verdadero, equivalentes a 17 t de caña, ya que esa

Cuadro 4. Diferencias en el rendimiento de los entrenudos de la parte superior del tallo en cañas con y sin aplicación de madurante. El número de los entrenudos se cuenta a partir del punto natural de quiebre.

Entrenudo (no.)	Con madurante			Sin madurante		
	Rend. (%)		TCH acumulado	Rend. (%)		TCH acumulado
	A	B		C	D ^a	
		****b				
1	2.41	7.88	2.18	-0.81	-1.11	2.04
2	1.61	9.43	6.25	-1.53	-1.05	5.28

3	5.70	9.36	11.61	-0.66	-0.66	9.24
4	8.11	11.51	18.42	0.36	2.65	13.20
5	10.38	12.56	25.03	3.43	5.07	16.93
					****	****
6	11.35	12.38	32.37	6.82	7.82	20.63

a. Suertes:	A = Casa de teja 9,	B = Convenio 6,	C = Navarro 6,	D = El Talego 4
Variedad:	MZC 74-275	MZC 74-275	MZC 74-275	MZC 74-275
Corte no.:	2	2	2	2
Edad (meses):	10.69	12.07	11.35	10.69
TCH:	122	101	129	84

b. Indica el sitio por donde se debió cortar la parte superior del tallo al momento de la cosecha.

FUENTE: Ingenio Mayagüez (n.p.)

porción del tallo presenta un rendimiento inferior a 5.6%. Si la respuesta al madurante es buena, las plantas se pueden descogollar a la altura del punto natural de quiebre, y, en este caso, no se presentarán residuos. Cuando la respuesta al madurante no es muy buena, es posible dejar dos entrenudos adheridos al cogollo, lo que equivaldría a 6 t de caña en el campo. Lo anterior significaría que con el madurante se aprovecharían entre 10 y 17 t más que cuando no se aplica éste. Los resultados indican que la producción adicional debida a la aplicación del producto compensa y supera la reducción en el tonelaje, debida a la disminución en el crecimiento de los tallos por efecto de la aplicación de aquél (Villegas, 1992; Villegas y Torres, 1993).

Con base en lo anterior se puede afirmar que la aplicación del madurante es un buen negocio, no sólo para el ingenio que puede recuperar una mayor cantidad de azúcar, sino también para el proveedor que puede aprovechar un mayor tonelaje y para el cortero que puede descogollar más alto. Sin embargo, no es fácil poner en práctica el concepto de altura de corte, ya que no es posible generalizar sobre el punto en el cual se debe descogollar la caña que ha recibido o no madurante, debido a que en ambos casos el rendimiento de los últimos entrenudos varía dependiendo de muchas condiciones como variedad, edad, clima y respuesta al producto. Por lo anterior se sugiere que en las muestras de precosecha, que normalmente se toman en los ingenios, además del rendimiento total del tallo, se determine también el rendimiento de los últimos entrenudos de los tallos y, posteriormente, con base en los resultados se genere la información necesaria para que los corteros descogollen la planta en el punto adecuado, sin afectar su rendimiento. Esta es una labor en la cual el Departamento de Control de Calidad de cada ingenio puede prestar su valiosa contribución.

Con frecuencia se afirma que en cultivos que han recibido madurante, el cortero descogolla más alto, y es posible que así suceda, pero puede ocurrir que aún se este desaprovechando caña, como se pudo comprobar al observar los resultados de la evaluación de un corte comercial en donde había franjas con y sin aplicación de madurante. En este caso se encontró que el cogollo rechazado por el cortero en caña que había recibido el producto fue más corto (76 cm) que el cogollo rechazado cuando aquella no lo había recibido (88 cm); sin embargo, cuando en estos residuos se separaron los cogollos verdaderos y la caña adherida, se encontró que en ambos tipos — caña con y sin madurante— se dejaban cantidades casi iguales de caña en el campo. En las plantas que habían recibido la aplicación de madurante se dejaban, en promedio, 4.5 entrenudos con una longitud de 44 cm, y en aquellas que no recibían madurante se dejaban 3.7 entrenudos con una longitud de 48 cm.

Lo anterior demuestra que, muchas veces cuando se aplica el producto, parte de la ganancia se deja en el campo y, en otros casos, en los que no se aplica, se envían a la fábrica porciones de tallo que no justifican económicamente su molienda; por lo tanto, la altura de corte al momento de la cosecha debe demandar de los técnicos e investigadores la máxima atención posible.

Beneficios Económicos del Uso de Madurantes

El beneficio directo que se obtiene de la aplicación de un madurante está representado por el incremento en el rendimiento o azúcar recuperable que se obtiene, menos los costos de la aplicación.

Los costos de aplicación están representados por el valor del producto, el costo del vuelo de la aeronave, la mano de obra y otros costos adicionales que se incluyen en el Cuadro 5. Los incrementos periódicos de estos costos, las diferentes respuestas de las variedades al madurante y las variaciones en el precio del azúcar, hacen difícil determinar la rentabilidad exacta de esta práctica. Sin embargo, se puede asegurar que el incremento de 1 kg de azúcar por tonelada de caña molida es suficiente para pagar la inversión (Cuadros 5 y 6).

Con base en muestras tomadas en diferentes ingenios y en análisis diarios de la caña que entra al molino comercial, se ha encontrado que cuando ésta ha recibido la aplicación de madurante presenta, además de los beneficios directos, un menor contenido de materia extraña y, por consiguiente, un mayor rendimiento.

Según la información obtenida por CENICAÑA, la industria azucarera colombiana obtuvo entre 1983 y 1990 beneficios por 7500 millones de pesos colombianos, debido al uso de madurantes. Estos datos se calcularon con base en el precio del azúcar adicional que se produjo por el uso de la tecnología (CENICAÑA, 1991).

Cuadro 5. Costos/ha de la aplicación de madurantes en caña de azúcar, en términos de kg de azúcar.

Concepto	Cantidad/ha	Costo ^a /ha (kg de azúcar)
Vuelo de la aeronave	1.0 ha	26.7
Glifosato	1.2 lt	40.2
Adherente	0.1 lt	1.9
Mano de obra (bandereo)	1.2 jornales	3.0
Transporte de personal	0.09 horas-campero	1.0
Caña-brava	10 unid.	0.6
Transporte tanque con agua	0.08 horas-tractor	0.8
Supervisión	0.01 jornal	0.3
Subtotal		74.5
Administración (10%)		7.5
Total		82.0 ^b

a. Con base en la aplicación comercial de madurante en 100 ha.

b. Con base en los resultados, se puede decir que la inversión se paga con una producción de caña de 120 t/ha y una recuperación 0.69 kg de azúcar adicional por cada tonelada de caña molida, debido al madurante.

Cuadro 6. **Beneficio económico del uso de madurantes, de acuerdo con la variedad de caña.**

Variedad de caña	Sin madurante		Con madurante		Incremento en azúcar de caña (kg)	Beneficio ^a neto (kg de azúcar/ha)	Relación ^b Beneficio/costo	Recuperación ^c adicional requerida kg de azúcar/t de caña
	TCH	Rend. real (%)	TCH	Rend. real (%)				
CP 57-603	107.1	10.47	109.7	12.25	17.8	1848	23	0.76
POJ- 2878	105.5	9.57	100.9	10.58	10.1	960	12	0.79
PR 61-632	139.0	9.81	144.2	10.57	7.6	994	12	0.58
MZC 74-275	112.5	10.58	140.8	11.04	4.6	501	6	0.65

a, b, c. = Calculados con base en la producción de caña, promedio de las dos condiciones (sin y con madurante) y tomando como costo de aplicación el equivalente a 82 kg de azúcar/ha.

b. = Representa el número de veces que el beneficio cubre los costos de aplicación.

c. = Cantidad de azúcar adicional en kg, que deben recuperarse gracias al madurante por cada tonelada de caña molida, para pagar la inversión.

En forma adicional a los beneficios económicos, con la aplicación de madurantes es posible aumentar la productividad por unidad de área, con lo cual se puede reducir el área que sería necesario sembrar y, las toneladas que sería necesario cortar, alzar, transportar y moler para producir el azúcar adicional que se logra mediante la aplicación del producto.

En conclusión, la aplicación de madurante en caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca es una práctica económicamente atractiva; la cual se puede hacer aún más rentable, si se manejan las dosis y volúmenes adecuados en las aplicaciones, si se pone en práctica el concepto de la altura óptima de corte y si se logra un mayor conocimiento sobre los aspectos que afectan la respuesta del cultivo a su aplicación.

Referencias

- Arcila, A. J. 1986. Maduración química de la caña de azúcar. En: Buenaventura, C. (ed.). El cultivo de la caña de azúcar. Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Memorias del curso dictado en Cali, julio 28 a agosto 1 de 1986. p. 323-347.
- _____. 1990. Análisis técnico y económico de la maduración química de la caña en el Ingenio Risaralda S.A. En: Asociación Colombiana de Productores y Proveedores de Caña de Azúcar (PROCAÑA). Memorias. Cali, Colombia. 18 p.
- Azzi, G. M.; Alves, A. S.; y Kumar, A. 1978. Chemical ripener studies with polaris in sugarcane in Northeast Brazil. En: International Society Sugar Cane Technologist (ISSCT). 16. São Paulo, Brasil. Proceedings. São Paulo, p. 1653-1670.
- Buenaventura, C. E. y Yang, S. J. 1984. Evaluación del glifosato y Ethephon como madurantes químicos en el Valle del Cauca. En: Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). 1. Cali, Colombia. 1984. Memorias. p. 380-400.
- CENICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). 1992. Servicio de análisis económico y estadístico. En: Informe anual de labores 1991. Cali. 64 p.
- Chacravarti, A. S.; Srivastava, D. P.; y Khanna, I. L. 1956. Application of phytohormone to sugarcane. En: International Society Sugar Cane Technologist (ISSCT). 9. Nueva Delhy, 1956. Proceedings. New Delhy. p. 355-364.
- CIBA-GEIGY. s.f. Correcta aplicación aérea de pesticidas. División Agrícola, Folleto de divulgación. 43 p.
- Clowes, M. St. J. 1978. Early and late season chemical ripening of sugar cane. En: Proc. South African Sugar Technol. Assoc. (SASTA). 52:160-165.
- _____. 1980. Ripening activity of the glyphosate salts Mon. 8.000 and Roundup. En: 17th. Congress International Society Sugar Cane Technologist. (ISSCT). Manila, Filipinas. Proceedings. Manila. vol. 1. p. 676-693.

- _____ e Inmman-Bamber, N. G. 1980. Effects of moisture regime, amount of nitrogen applied and variety on the ripening applied and variety on the ripening response of sugarcane to glyphosate. En: South African Sugar Technologist Assoc. (SASTA). Annual Congress. Proceeding. Durban. vol. 54, p. 127-133.
- Coleman, R. E.; Todd, E. H.; Stokes, I. E.; y Coleman, O. H. 1960. The effect of gibberellic acid on sugarcane. En: International Society Sugar Cane Technologist. (ISSCT). 10. Hawaii. 1959. Proceedings. Elsevier, Amsterdam. p. 588-603.
- Cruz, K. R. 1990. Características y uso de Roundup como madurante de caña de azúcar. En: Seminario de la Asociación Colombiana de Productores y Proveedores de Caña de Azúcar (PROCAÑA). 1. Cali, Colombia. Memorias. 5 p.
- Eastwood, D. 1976. Chemical ripening of sugar cane in Jamaica. En: Meeting West Indies Sugar Cane Technologist. Proceedings. Barbados. p. 143-155.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 1990. Resolución no.0664 del 19 de junio de 1990. ICA, Regional no. 5, Cali, Colombia. 2 p. (Manuscrito.)
- Julien, R. 1977. A review of results of experiments in ripener "Polaris" in Mauritius. En: Monsanto Sugarcane Ripener Seminar. Proceedings. Río de Janeiro, Brasil. p. 147-158.
- Loustalot, A. J.; Cruzado, H. J.; y Muzik, T. J. 1950. The effect of 2,4-D on sugar content of sugarcane. Sugar J. p. 13-78.
- Mill, A. N. 1980. Result from glyphosate used as ripener at Felixton. En: Annual Congress South African Sugar Technol. Assoc. (SASTA). Proceedings. Mount Edgecombe. vol. 54. p. 134-139.
- Nickell, L. G. y Takahashi, D. T. 1972. A review of chemical ripening studies with sugarcane in Hawaii. Report Hawaiian Sugar Technol. p. 47.
- Rugai, C. A. y Notoa, J. E. 1979. Efecto de dos reguladores fisiológicos sobre la producción de la caña de azúcar variedad POJ 2878. Tesis. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira. 119 p.
- Villegas, T. F. 1992. Avances de la investigación con madurantes. En: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA). Documento de trabajo no. 240. 18 p.
- _____ y Buenaventura, O. C. 1990. Resumen de las investigaciones de CENICAÑA sobre maduradores químicos para la caña de azúcar. En: Seminario de la Asociación Colombiana de Productores y Proveedores de Caña de Azúcar (PROCAÑA). 1. Cali, Colombia. Memorias. p. 15
- _____ y Torres, A. J. 1991. Efecto del Roundup usado como madurante en la producción de caña de azúcar. En: Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y el Caribe. 2. Ciudad de México. Memorias. p. 45.
- _____ y _____ 1993. El madurante y la producción. En: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA). Serie divulgativa no. 2. 4 p.

Uso de Madurantes

- ; -----; y Yang, S. 1993. Evaluación de algunos productos químicos como maduradores de la caña de azúcar. En: Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). 3. Cali, Colombia. Sep. 10 - 14, 1990. Memorias. p. 437.
- Vlitos, A. J. y Lawrie, I. D. 1967. Chemical ripening of sugarcane. A review of fields studies carried out in Trinidad over a five year period. En: International Society Sugar Cane Technologist (ISSCT). 12 Congress. March 28 - April 10, 1965. San Juan, Puerto Rico. p. 429.
- Yates, R. A. y Bates, J. T. 1958. Preliminary experiments on the effects of chemical on the ripening of sugarcane. British West Indies Sugarcane Technol. Proceedings. p. 174-189.

Calidad de la Caña de Azúcar

Jesús E. Larrahondo*

Introducción

El procesamiento de la caña de azúcar para la obtención de la sacarosa empieza realmente en el campo. La variedad de caña, el suelo en el cual se cultiva, las prácticas de manejo que incluyen las dosis y épocas de aplicación de los fertilizantes, y el grado de madurez determinan la calidad del material producido. La caña con óptima calidad da mayores rendimientos fabriles para beneficio, tanto de los ingenios como de los cultivadores del sector azucarero.

La calidad se reconoce en el momento de la molienda por la cantidad de azúcar recuperable o rendimiento que se obtiene por tonelada de caña molida, lo cual depende de características como: (1) alto contenido de sacarosa, (2) bajo contenido de materiales extraños, (3) bajo contenido de sólidos solubles diferentes de la sacarosa, y (4) bajos niveles de fibra.

Es importante mencionar que otras características como tallos erectos, maduración y longitud uniformes, y facilidad para el corte permiten la obtención de material poco contaminado y de buena calidad para los molinos. En general, las características principales de la caña de buena calidad dependen de factores relacionados con:

1. Características agronómicas.
2. Aspectos morfológicos.
3. Calidad de los jugos.
4. Condiciones agroclimáticas.

En la Figura 1 se resumen las características que debe reunir la caña de azúcar de buena calidad. Aunque la calidad de los jugos está determinada principalmente por un alto nivel de sacarosa, otros constituyentes químicos de carácter orgánico determinan la calidad del procesamiento y del producto final, tal como se describe a continuación.

Principales Constituyentes Químicos de la Caña de Azúcar y su Relación con el Proceso Industrial

La caña de azúcar está constituida por jugo y fibra. La fibra es la parte insoluble en agua y está formada principalmente por celulosa, la cual, a su vez, está

* Jesús E. Larrahondo es Ingeniero Químico, Ph.D., Jefe del Programa de Fábrica de CENICANA, Apartado Aéreo 9138, Cali, Colombia.



Figura 1. Características de calidad de la caña de azúcar.

constituida por azúcares sencillos como glucosa (dextrosa). El contenido porcentual de sólidos (sacarosa, azúcares reductores y otros constituyentes) solubles en agua se denominan comúnmente brix (expresado en porcentaje). La razón porcentual entre la sacarosa en el jugo y el brix se conoce como pureza del jugo. El contenido aparente de sacarosa, expresado como un porcentaje en peso y determinado mediante un método polarimétrico, se denomina “pol”. Los sólidos solubles diferentes de la sacarosa, que incluyen los azúcares reductores como la glucosa y otras sustancias orgánicas e inorgánicas, se denominan usualmente “no-pol” o no-sacarosas, los cuales porcentualmente resultan de la diferencia entre el brix y el pol.

En la caña, el agua representa entre 73% y 76%. Los sólidos totales solubles (brix, % caña) varían entre 10% y 16%, y la fibra (% de caña) oscila entre 11% y 16%. Entre los azúcares más sencillos se encuentran la glucosa y la fructosa (azúcares reductores), que existen en el jugo de cañas maduras en una concentración entre 1% y 5%. La calidad del azúcar crudo y de otros productos —como el color y el grano (dureza) de la panela— dependen, en parte, de la proporción de estos azúcares reductores, los cuales cuando aumentan por causa del deterioro o falta de maduración de la planta, pueden producir incrementos en el color y grano defectuoso en la panela (Clarke et al., 1986a).

La cristalización comercial del azúcar (sacarosa) es afectada por otras clases de azúcares, diferentes a la fructosa y a la glucosa, que se encuentran presentes en los jugos. Este grupo de carbohidratos conocidos como oligosacáridos, debido a que están constituidos por más de dos y menos de 10 unidades de azúcares sencillos (monosacáridos), causan un alargamiento en el eje “C” de la estructura cristalina, o sea, alteran el tamaño del cristal de sacarosa. Entre los principales oligosacáridos reconocidos en la caña de azúcar se encuentran: theanderosa, erlosa, gentianosa, cestosa y leucrosa. En Suráfrica se considera que la formación de otros oligosacáridos depende de la maduración del cultivo y sus niveles incrementan rápidamente con el deterioro de la caña después del corte (SMRI, 1992).

Además de los azúcares presentes en el jugo, existen otros constituyentes químicos de naturaleza orgánica e inorgánica, representados por sales de ácidos orgánicos, minerales, polisacáridos, proteínas y otros no-azúcares (Cuadro 1).

La calidad de los jugos afecta el procesamiento de la caña y la recuperación de la sacarosa en los ingenios; en este sentido se reconoce que algunos polisacáridos como los almidones reducen y dificultan la filtración durante el proceso químico, ya que se incorporan en los cristales del azúcar crudo (Imrice y Tilbury, 1972). Chen (1968). Imrice y Tilbury (1972) encontraron que el contenido de almidones en los tallos de la planta es una característica varietal, susceptible de ser reducida mediante prácticas agrícolas como el riego y la fertilización con potasio.

Los jugos de la caña de azúcar contienen pequeñas cantidades de almidón, aproximadamente entre 50 y 70 mg/l, en forma de gránulos, los cuales durante la molienda se separan del tejido vegetal y se solubilizan en forma de dos estructuras moleculares: la amilosa y la amilopectina. La amilosa es esencialmente un glucano lineal con enlaces de glucosa α -(1.4) y la amilopectina, aunque es también un glucano, exhibe uniones α -(1.4) asociadas con una estructura altamente ramificada de enlaces α -(1.6). Además de los almidones, se han aislado de los jugos de la caña fresca otros polisacáridos como el I.S.P., identificado en Louisiana (Clarke et al., 1986b), el cual por hidrólisis produce arabinosa, galactosa, glucosa, manosa, xilosa y pequeñas cantidades de rhamnosa. Durante la fase de purificación del I.S.P. es posible detectar también la presencia de otro polisacárido de estructura similar a la amilopectina y al glicógeno, pero de inferior peso molecular, conocido actualmente como el glucano de Robert (Clarke et al., 1986b).

Cuadro 1. Promedio de la composición química de los tallos y de los jugos de la caña de azúcar.

Constituyente químico	Porcentaje ^a	
En los tallos:		
Agua	73	- 76
Sólidos	24	- 27
- sólidos solubles (brix)	10	- 16
- fibra (seca)	11	- 16
En el jugo:		
Azúcares		
- sacarosa	75	- 92
- glucosa	70	- 88
- fructosa	2	- 4
	2	- 4
Sales		
- inorgánicas	3.0	- 3.4
- orgánicas	1.5	- 4.5
Acidos orgánicos	1	- 3
Aminoácidos	1.5	- 5.5
	1.5	- 2.5
Otros no azúcares		
- proteína	0.5	- 0.6
- almidones	0.001	- 0.050
- gomas	0.3	- 0.6
- ceras, grasas, etc.	0.15	- 0.50
- compuestos fenólicos	0.10	- 0.80

a. En los tallos, el porcentaje se refiere a la planta de caña y en el jugo a sólidos solubles.

FUENTE: Meade y Chen, 1977.

En Colombia existen dos fuentes básicas de colorantes provenientes de la caña: (1) los que se originan en la planta, y (2) los que se forman durante su procesamiento. En los jugos de la planta se encuentran compuestos de carácter fenólico, que pueden ser de naturaleza sencilla o compleja como los flavonoides. Estos últimos pueden existir en forma libre o como glicósidos unidos a moléculas de azúcar. Algunos fenoles son incoloros dentro de la planta, pero se oxidan o reaccionan con aminas produciendo sustancias coloreadas (Clarke et al., 1986a; SMRI, 1992). Los compuestos coloreados que se forman durante el procesamiento provienen de la descomposición térmica de la sacarosa y de los azúcares reductores (glucosa o fructosa), o se originan en las reacciones de estos carbohidratos con compuestos amino-nitrogenados presentes en la planta (reacciones de Maillard) (Figura 2), produciendo polímeros coloreados denominados melanoidinas (Clarke et al., 1986a).

Como se mencionó antes, los flavonoides son compuestos fenólicos, considerados como los pigmentos naturales vegetales de mayor importancia en la caña de

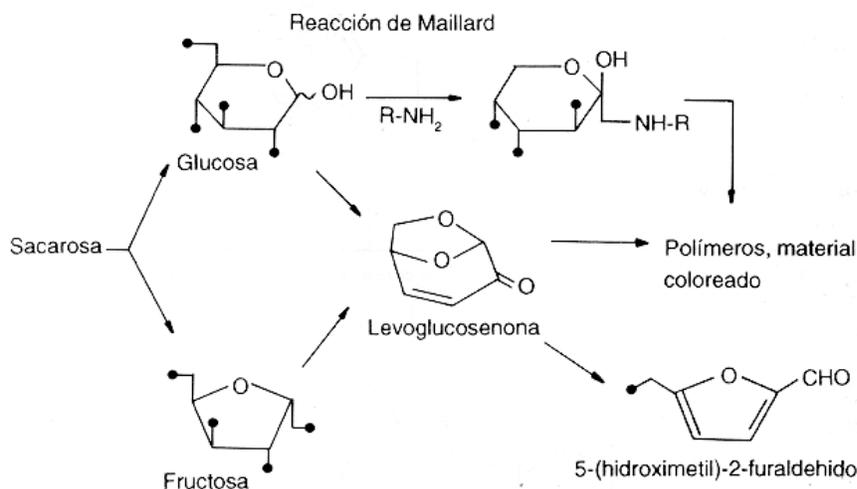


Figura 2. Posibles vías de la termólisis de la sacarosa y formación de melanoïdinas durante el procesamiento de la caña de azúcar.

FUENTE: Shafizadek et al. (1979).

azúcar por su utilidad como marcadores bioquímicos en taxonomía vegetal (Smith y Paton, 1985) y por sus propiedades químicas en el proceso azucarero. En el género *Saccharum* se conocen cinco clases de flavonoides: antocianinas, catequinas, chalconas, flavonoles y flavonas, que poseen todos una estructura común $C_6C_3C_6$ con dos anillos aromáticos de carácter fenólico designados A y B, tal como se muestra en la Figura 3.

Abernethy y Aitken (1986) encontraron que los niveles de precursores de color (amino-nitrógenos y fenoles) o materiales pigmentados en los jugos, se relacionan con la variedad. Asimismo, Lionnet (1986) considera que un déficit o estrés de humedad puede incrementar el contenido de cuerpos coloreados, especialmente de amino-nitrógenos.

Los flavonoides tienen una alta solubilidad en agua y se extraen de los tallos durante la etapa de maceración en los molinos. El grupo de las antocianinas está constituido por pigmentos catiónicos cuyo color se torna oscuro cuando el pH disminuye, pero se descomponen fácilmente a pH 7.0 durante la clarificación y el calentamiento, originando un glicósido de coumarina incoloro (Figura 4).

Las flavonas derivadas del tricino, el luteolino y el apigenino, constituyen otra clase de flavonoides de importancia en la caña de azúcar. Estos compuestos son colorantes de carácter ligeramente ácido y existen en forma no ionizada a pH bajo. A diferencia de las antocianinas, las flavonas persisten durante la etapa de

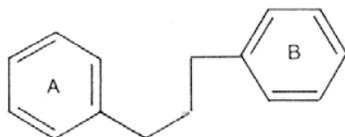


Figura 3. Anillos aromáticos de carácter fenólico comunes a los flavonoides de la caña de azúcar.

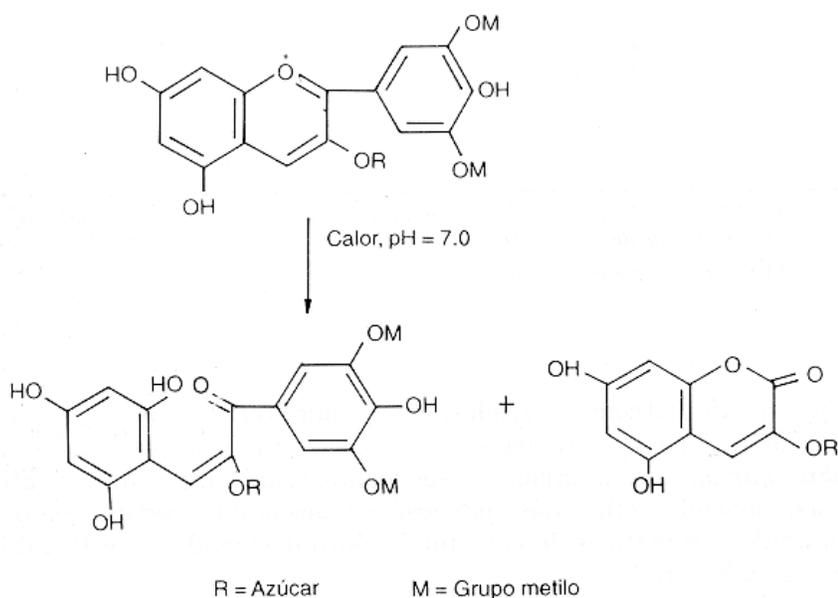


Figura 4. Descomposición térmica de las antocianinas presentes en la caña de azúcar.

FUENTE: Smith y Paton, 1985.

clarificación, siendo estables en un medio alcalino lo cual explica, al menos en un 30%, el color del azúcar crudo a pH 7.0. En general, la contribución de los flavonoides al color de los cristales de sacarosa se incrementa rápidamente entre pH 7.0 y 9.0 (Smith y Paton, 1985).

Factores que Afectan la Calidad de la Caña de Azúcar Antes del Corte

Los factores que contribuyen a la calidad de la caña de azúcar antes del corte están relacionados con:

1. La variedad.
2. Las prácticas culturales.
3. La edad y la época de corte.

La variedad de caña y su efecto en la calidad

El contenido de sacarosa, el proceso de maduración, el nivel de compuestos no-sacarosos y la morfología de los tallos, son características varietales que influyen directamente en la calidad de los jugos. Es difícil hacer una clasificación rígida de las variedades de acuerdo con su contenido de sacarosa; no obstante, existen marcadas diferencias entre ellas y, a menudo, se denominan variedades precoces o tardías, ya sea que a una edad temprana alcancen un contenido alto o bajo de sacarosa, respectivamente. La maduración es el proceso de acumulación de la sacarosa en el tallo y para que ocurra es necesario que se presente una disminución en la celeridad del crecimiento, que favorezca la acumulación de los azúcares producidos durante la actividad fotosintética.

La dureza de la corteza es una característica importante de calidad en las variedades de caña, ya que constituye un obstáculo para el avance del insecto-plaga conocido como barrenador. La población de tallos es otra característica varietal que tiene incidencia en la calidad; inicialmente aparecen los tallos primarios, y entre 4 y 8 semanas más tarde brotan de los nudos de éstos 1 o más tallos secundarios. Algunos tallos secundarios crecen en forma adecuada, pero otros crecen débiles y mueren entre 5 y 9 meses de edad. Entre 8 y 10 meses aparecen los primeros “chulquines” o “mamones”, que se reconocen con facilidad por ser tallos de mayor diámetro y de crecimiento rápido y erecto, siendo comunes en la variedad POJ 2878 cuando sufre volcamiento, lo cual favorece una mayor exposición a la luz y ayuda a promover el desarrollo de aquellos. En la época de molienda, a los 12 meses de edad aproximadamente, la madurez de los chulquines es un factor importante que afecta la calidad; así, en la variedad POJ 2878 cosechada entre 12 y 15 meses, se han observado disminuciones significativas en la pureza de los jugos y en el azúcar recuperable o rendimiento estimado de azúcar (ARE), cuando la población de aquellos es alta. Por el contrario, en cultivos con 2 años de edad, los chulquines están completamente maduros y contribuyen de manera significativa en el rendimiento.

Algunas características morfológicas de los tallos como la forma, el diámetro y el color, que influyen en la calidad, cambian con las variedades. Se sabe que las condiciones de desarrollo del cultivo tienen un mayor impacto en la longitud de los entrenudos que en el diámetro de los tallos de la planta. La forma de los tallos tiene especial importancia debido a la introducción de la cosecha mecanizada. En los países donde se cultiva caña de crecimiento erecto, las cosechadoras y las alzadoras mecánicas realizan una labor eficiente y envían a la fábrica caña relativamente limpia, evitando, de esta manera, la reducción en la pureza de los jugos y en el rendimiento en sacarosa; así, por ejemplo, en Queensland, Australia, las dificultades para la cosecha mecánica condujeron a la selección de variedades erectas con buenos tonelajes y alta sacarosa (Meade y Chen, 1977).

Las prácticas culturales y la calidad de la caña de azúcar

Aspectos de nutrición de la planta y su relación con la calidad de los jugos. El desarrollo de la planta está ligado a la nutrición mineral. La fertilización tiene por objeto estimular el crecimiento de la planta, pero algunos nutrimentos tienen efectos adversos sobre la calidad en el momento de la cosecha, en tanto que otros la mejoran y son clave en el proceso fabril.

Las aplicaciones excesivas de nitrógeno tienden a disminuir el contenido de sacarosa y a retrasar la maduración; no obstante, niveles altos de este nutrimento están casi siempre asociados con un vigoroso desarrollo vegetativo, como lo demuestran los estudios realizados en Hawái y México (Wang, 1976), donde se observaron disminuciones en el pol (% caña) e incrementos en la producción de la variedad de caña NCo 310 con la aplicación de dosis altas de nitrógeno.

Por otra parte, el fósforo mejora la calidad de los jugos, como lo demuestran los trabajos de Meade y Chen (1977), quienes en Hawái encontraron aumentos significativos en la calidad de los jugos con la fertilización fosfatada. Honig (1960) considera que la cantidad de fosfatos presente en el jugo de la caña es importante durante el proceso de clarificación, ya que se acepta que para una buena floculación después del enclamiento y de la adición de poliacrilamidas (floculantes), las concentraciones de fósforo en el jugo deben estar entre 300 y 600 mg/l de P_2O_5 . El fósforo, en forma de fosfatos solubles, además de ser un elemento clave para el crecimiento y el desarrollo del cultivo, es también de gran utilidad en el procesamiento y recuperación de azúcar de buena calidad.

El potasio es importante en el metabolismo de los vegetales, ya que sirve para mantener en dispersión el protoplasma, para la asimilación del carbono y para la síntesis y traslocación de las proteínas. Cuando se presentan deficiencias de este nutrimento en un cultivo de caña, el porcentaje de sacarosa se reduce y los niveles de azúcares reductores se incrementan, lo cual resulta, posiblemente, en bajo rendimiento y en la presencia de altas cantidades de materiales coloreados, debido a la descomposición térmica de los azúcares reductores o a las reacciones de Maillard antes mencionadas. Wood (citado por Imrice y Tilbury, 1972) en Suráfrica encontró que las aplicaciones de potasio en suelos deficientes contribuían a disminuir el contenido de almidón en los jugos de diferentes variedades, evitando problemas posteriores en el proceso fabril.

Cuando el contenido de potasio en el suelo es adecuado, se deben evitar las aplicaciones excesivas de este nutrimento, ya que se pueden presentar problemas en la fábrica. El cloruro de potasio cristaliza primero que la sacarosa y ocasiona problemas en la elaboración de azúcar comercial. Los jugos provenientes de cañas cultivadas en suelos salinos, ricos en sulfato de potasio, producen incrustaciones de sulfato de calcio hidratado (yeso) en los evaporadores. Estas incrustaciones resultan de la combinación del ión sulfato con el calcio proveniente del enclamiento que se hace en la fábrica.

Otros elementos minerales como el sodio, asociados a la presencia de altos niveles de potasio, calcio y magnesio, que son comunes en suelos salinos, tienen

un marcado efecto melasigénico (producción de mieles) en la etapa de cristalización de la sacarosa y conducen, en consecuencia, a la producción de mieles finales de alta pureza y a una baja recuperación de azúcar comercial.

En consecuencia, el desequilibrio de los elementos minerales asimilables, bien sea por el origen o por el uso del suelo, se debe corregir si se quiere alcanzar una alta producción, un alto rendimiento de azúcar y jugos de buena calidad para el proceso fabril. Se requiere, por lo tanto, una adecuada tecnología en el uso de los fertilizantes, de acuerdo con las necesidades del medio donde se cultiva la caña de azúcar.

Régimen de humedad en el suelo y calidad de los jugos. La reducción en el contenido de humedad en los tallos induce la conversión de los azúcares reductores a sacarosa (proceso de sazonado); por el contrario, si el sazonado es inadecuado, se reduce la formación de azúcar. Wiggins (citado por Larrahondo et al., 1989) encontró que los jugos de caña cultivada bajo diferentes grados de estrés, presentaron aumentos en el contenido de aminoácidos, que causaron serios problemas de clarificación en la fábrica.

En CENICAÑA se han efectuado algunos trabajos sobre la influencia de la humedad disponible en el suelo sobre la calidad de los jugos. Para el efecto se utilizó la variedad PR 61-632 sembrada en lisímetros de percolación bajo cuatro condiciones de humedad. Después de 14 meses de crecimiento, los resultados del análisis de los jugos (Cuadro 2) mostraron un notable incremento en los amino-nitrógenos cuando la humedad disponible fue de 20%, siendo su concentración 4.8 veces mayor que el nivel observado en la caña cultivada con una humedad disponible de 100%. El color y la turbiedad del jugo clarificado disminuyeron cuando la humedad en el suelo se incrementó, lo que se asoció también con una mayor concentración de fósforo en los jugos, debido probablemente a un mejor suministro de fosfatos en el suelo húmedo. Las anteriores observaciones sugieren que el estrés por déficit de humedad podría incrementar los niveles de impurezas coloreadas y de precursores de color, parámetros importantes de la calidad de los jugos.

Cuadro 2. **Características químicas de la calidad de los jugos de la variedad de caña PR 61-632 con 14 meses de edad, bajo diferentes regimenes de la humedad en el suelo.**

Humedad en el suelo (%)	Color (IMCUNSA 420 nm)	Turbiedad (absorbancia) ^a	P (mg/l)	Amino-nitrógenos ^b (mg/l)	Fenoles totales ^c (mg/l)
100	8240	0.34	380	48	584
80	8140	0.42	229	183	569
50	11600	0.61	195	195	587
20	13340	0.64	228	228	633

a. Absorbancia óptica a 720 nm.

b. Equivalente en ácido glutámico.

c. Equivalente en ácido cafeico.

FUENTE: Larrahondo et al., 1989.

Efecto de la edad al corte en la calidad de la caña

En el valle geográfico del río Cauca se han realizado varios estudios sobre la maduración de variedades comerciales y promisorias de caña (Larrahondo et al., 1989; Larrahondo y Torres, 1990). En ellos se han encontrado diferencias entre variedades que permiten distinguirlas por su capacidad para concentrar sacarosa desde edades muy tempranas (9 a 10 meses) hasta alcanzar una máxima concentración, en algunos casos, entre 12 y 14 meses de edad. Variedades comerciales de caña como MZC 74-275 y Mex 52-29 han mostrado buena maduración entre 12 y 15 meses, mientras que otras como PR 61-632 han sido más tardías, alcanzando su máximo valor de azúcar recuperable (ARE, %) a 18 meses de edad.

Entre las variedades recientemente introducidas a Colombia por CENICAÑA sobresalen, por su contenido de sacarosa a la edad de máxima maduración (14 a 16 meses), Mex 64-1487 y 68-808 y V 71-51. Las variedades CC (CENICAÑA-Colombia) presentan desde los 10 meses valores de sacarosa equivalentes o superiores a los de las variedades comerciales MZC 74-275, PR 61-632 y CP 57-603, alcanzando la máxima maduración y los mayores rendimientos en azúcar entre 12 y 16 meses de edad del cultivo.

En relación con el contenido de la fibra, otro parámetro de calidad de la caña, se ha observado que ésta incrementa con la edad del cultivo (Figura 5), encontrándose en las variedades CENICAÑA y en las introducidas niveles que fluctúan entre 11% y 15% durante el período de maduración. Asimismo, se han detectado diferencias significativas en el contenido de compuestos no-sacarosa entre variedades cosechadas a diferentes edades. Por otra parte, los contenidos totales de

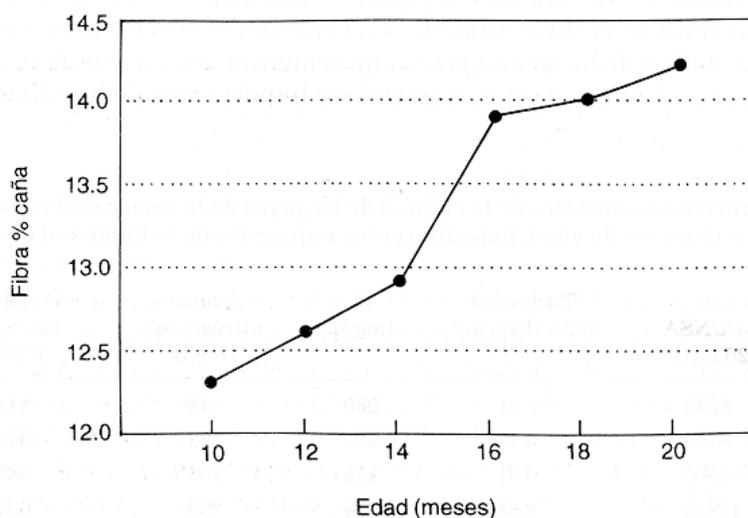


Figura 5. Promedio de variación del porcentaje de fibra con la edad al corte de seis variedades de caña de azúcar.

compuestos fenólicos, polisacáridos solubles y almidones de los jugos, tienden a incrementar con la edad de la planta en las variedades evaluadas en las condiciones del valle geográfico del río Cauca (Figura 6). En estos estudios se encontró una relación positiva entre la concentración de almidones y los fosfatos, similar a la obtenida por Chen (1968) en Taiwan. En las variedades Mex 68-808, 64-1487 y 68-200 y V 71-51, se ha encontrado que otros materiales o precursores de color, como los amino-nitrógenos, disminuyen a partir de 10 meses de edad, contribuyendo así a la obtención de un azúcar de mejor color.

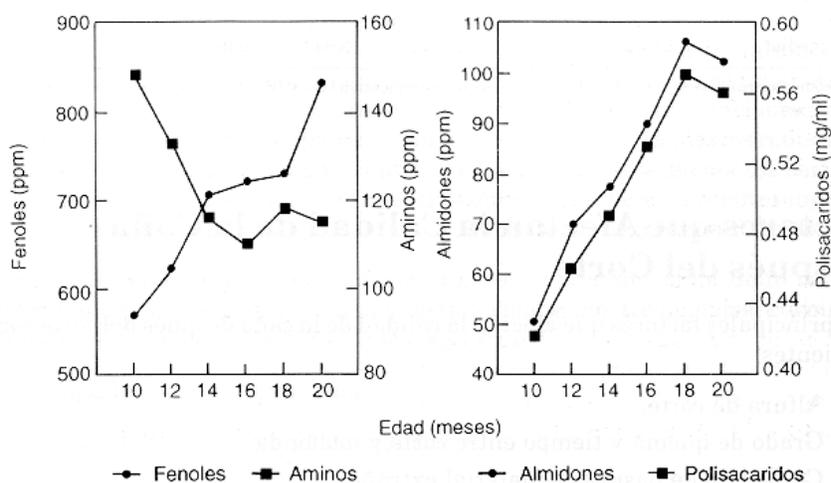


Figura 6. Promedio de las variaciones con la edad de la planta en los contenidos de almidones, polisacáridos solubles, fenoles totales y amino-nitrógenos en los jugos de seis variedades de caña de azúcar.

La relación glucosa/fructosa (G/F) depende de los factores varietales, de las condiciones climáticas y de la edad del cultivo (Irvine, 1974). Las variedades antes mencionadas mostraron, entre 10 y 14 meses de edad, relaciones G/F que oscilaron, en su mayoría, entre 1.0 y 1.15 (Cuadro 3), que disminuyeron hasta alcanzar relaciones inferiores a 1.0 a partir de esta última edad. La relación G/F ideal para la caña madura está alrededor de 1.0; este valor, combinado con la medición del rendimiento, se puede utilizar para determinar el momento indicado de corte o cosecha.

Cuadro 3. **Variaciones en la relación glucosa/fructosa durante la maduración de seis variedades de caña de azúcar.**

Variedad de caña	Edad (meses)						Promedio ^a
	10	12	14	16	18	20	
CP57-603	1.04	1.07	1.08	0.94	0.93	0.93	1.02 ab
Mex 68-808	1.05	1.03	0.92	0.80	0.88	1.10	0.94 bc
Mex 64-1487	1.05	1.04	1.02	0.99	0.88	1.04	0.99 bc
Mex 68-200	0.99	1.00	1.05	0.93	0.94	0.91	1.01 abc
V 71-51	0.97	0.94	0.91	0.95	0.79	0.79	0.91 c
Mex 64-1214	1.15	1.09	1.09	1.03	1.15	1.22	1.11 a
Promedio ^a	1.04 a	1.03 a	1.01 a	0.94 a	0.94 a	1.02	

1. Promedios con letras iguales no difieren en forma significativa ($P < 0.05$), según la prueba de Duncan.

Factores que Afectan la Calidad de la Caña Después del Corte

Los principales factores que afectan la calidad de la caña después del corte son los siguientes:

1. Altura de corte.
2. Grado de quema y tiempo entre corte y molienda.
3. Contenido de basuras o material extraño.
4. Acción de microorganismos.

El deterioro de la caña y la pérdida de sacarosa entre el corte y la molienda han sido objeto de varios estudios. Se sabe que este deterioro empieza casi inmediatamente después del corte, siendo mayor a medida que aumenta el tiempo de permanencia en los patios del molino o en el campo. La tasa de deterioro depende de las condiciones ambientales, de la variedad y del sistema de manejo (CENICANA, 1983; Larrahondo, 1983). Cuando el corte es mecánico, el deterioro es mayor, debido al incremento de las infecciones de origen bacteriano en los tallos. En la década de los 60, en Queensland, el deterioro ocasionó grandes pérdidas en la calidad de los jugos. Según Egan y Rehbein (1963), este deterioro se debió a la entrada de microorganismos a la planta como resultado de las operaciones mecánicas, especialmente cuando las cuchillas de las cosechadoras no estaban bien alineadas ni afiladas.

En el valle geográfico del río Cauca se ha encontrado que cuando la caña se quema e inmediatamente se corta, el brix (% caña) aumenta entre 10% y 16% en las primeras 48 horas, en relación con la caña que se corta sin quemar; esta diferencia se debe a la pérdida de humedad en los tallos de la primera. De la misma

forma, cuando se quema y se deja “en pie”, se presenta un descenso continuo en el brix (% caña) y en el pol (% caña), debido al deterioro y a la mayor dilución de los metabolitos por la absorción de agua a través del sistema radicular de la planta. Los resultados muestran una pérdida diaria de 2.7% en sacarosa, siendo ésta mayor después de 48 horas de realizada la cosecha (CENICAÑA, 1983; Larrahondo, 1983).

En el valle geográfico del río Cauca también se han realizado algunos estudios con el objeto de comparar el efecto del tamaño de los trozos obtenidos con las cosechas mecanizada y manual. En las variedades comerciales CP 57-603 y POJ 2878 se ha encontrado que los trozos —quemados o sin quemar— se deterioran más rápidamente que la caña entera. Cuando ésta se quema y después se troza, las pérdidas en azúcar recuperable pueden ascender hasta 14% a las 24 horas; igualmente, el pol (% caña) disminuye con el tiempo, especialmente en la variedad CP 57-603, la cual una vez se quema y se troza presenta una pérdida de 10% en sacarosa durante las primeras 24 horas. Estas disminuciones en los niveles de sacarosa están acompañadas por incrementos en los azúcares reductores y descensos en el pH de los jugos, tanto en cañas trozadas y quemadas como en aquellas trozadas pero sin quemar, mientras que en los correspondientes jugos de cañas enteras, los cambios en el pH han sido menores (Larrahondo, 1983).

El porcentaje (en peso) de materia extraña es otro indicador de la calidad después del corte. La materia extraña está formada por suelo, hojas, cogollos y chulquines, que afectan las actividades siguientes:

1. La liquidación a los proveedores.
2. El costo de la cosecha y el transporte.
3. La eficiencia de la fábrica, ya que causa incrementos en el bagazo, la fibra y la cachaza, ocasionando disminuciones en la extracción y en la recuperación final de azúcar.
4. El mantenimiento de los equipos utilizados en el proceso fabril y en la movilización de la caña.

En el Ingenio Riopaila (Valle del Cauca) se encontró que las hojas y los cogollos son los materiales extraños más frecuentes (Cuadro 4) y representan, en promedio, 37.7% y el 27.4% del porcentaje total de materia extraña por tonelada de caña (7.48%).

No obstante, el régimen de lluvias puede influir en los contenidos de materiales extraños, ya que se espera una mayor cantidad de suelo adherido en la caña durante la época de lluvias o de mayor precipitación. En el Ingenio Riopaila, se encontró que por cada unidad (en porcentaje) de materia extraña presente, el rendimiento se redujo en 0.14%. En estudios de laboratorio, utilizando adiciones de materia extraña formada por hojas (20% a 40%), cogollos (45% a 50%), suelo (10% a 15%) y chulquines (5%) se encontró, igualmente, que la presencia de 1% de materia extraña (en peso) causa descensos entre 0.13% y

Cuadro 4. Porcentaje (en peso) de materiales extraños en la cosecha de caña. Ingenio Riopaila, 1988-1990.

Material	Valor mínimo (%)	Valor máximo (%)	Promedio (%)	Porcentaje relativo	Varianza
Hojas	0.39	15.47	2.820	37.70	3.580
Cogollos	0.32	12.68	2.050	27.40	1.650
Suelo-ceniza	0.0	7.86	1.720	23.00	0.390
Chulquines	0.0	4.45	0.420	5.60	0.540
Caña seca	0.0	5.46	0.420	5.60	0.790
Raíces y cepas	0.0	2.95	0.040	0.50	0.030
Malezas	0.0	0.22	0.006	0.08	0.002

0.17% en el pol (% caña), y entre 0.16 y 0.21 unidades en el azúcar recuperable. Además de las pérdidas en sacarosa, la adición de 1% de materia extraña ocasionó un aumento entre 0.2% y 0.3% en la fibra (% caña).

En los estudios sobre la altura óptima de corte, en caña se ha encontrado que al avanzar el período vegetativo la planta alcanza su maduración cerca al punto natural de quiebre; en algunas variedades comerciales como CP 57-603, el mejor punto de corte está alrededor de los entrenudos 3 y 4, numerados de arriba hacia abajo desde dicho punto (CENICAÑA, 1983). Por lo tanto, si se desea alcanzar la máxima calidad y el mayor rendimiento, el material que se desecha en el campo al momento del corte debe medir entre 55 y 70 cm, ya que el promedio de la longitud de un entrenudo es de 10 cm y la longitud de los cogollos varía entre 25 y 30 cm.

Por otra parte, en experimentos con maduradores químicos a base de glifosato (Roundup) que aumentan el contenido de sacarosa en los entrenudos superiores, se encontró que cuando se aplican en dosis de 1.0 a 1.5 lt/ha, el corte se puede realizar a nivel del punto natural de quiebre, con lo cual sólo se elimina en el campo un trozo (cogollo) de 25 a 30 cm. Esto ayuda a compensar la pérdida de caña (en peso), causada por el empleo de maduradores químicos (CENICAÑA, 1983).

El material extraño, especialmente aquél constituido por cogollos, tiene una alta incidencia en los niveles de color y de impurezas como polisacáridos solubles, fenoles y amino-nitrógenos (Cuadros 5 y 6). Estos constituyentes químicos afectan el proceso de cristalización y la calidad final del azúcar en relación con su color. El cogollo de la caña de azúcar contribuye también al aumento de los niveles de color, encontrándose, en ocasiones, cinco a ocho veces más precursores de color, como fenoles, en esta parte de la planta que en la caña limpia. Adicionalmente, es posible encontrar en ellos incrementos hasta de 60% en el nivel de polisacáridos solubles lo que afecta, principalmente, la evaporación y la cristalización del azúcar comercial. Lo anterior enfatiza la importancia de la altura de corte adecuada y la remoción de la materia extraña, especialmente cogollos, con la finalidad de proporcionar a las fábricas caña de mejor calidad.

Calidad de la Caña de Azúcar

Cuadro 5. Promedio de color ICUMSA en materiales originados de la cosecha de la caña de azúcar.

Materiales	Color ICUMSA ^a
Entrenudos	5,500
Nudos	20,700
Banda de raíces	28,900
Tallo limpio	13,400
Cogollos	139,700

a. Comité Internacional de Métodos Unificados de Análisis Azucareros (ICUMSA, sigla en inglés).

Cuadro 6. Promedio de concentración de diferentes constituyentes de los jugos de caña limpia y de cogollos de las variedades MZC 74-275 y PR 61-632, a una edad entre 12 y 14 meses.

Constituyente	Variedad MZC 74275		Variedad PR 61632	
	Caña limpia	Cogollo	Caña limpia	Cogollo
Polisacáridos solubles (mg/l)	570	910	370	590
Fenoles (% brix)	0.28	2.19	0.33	1.70
Amino-nitrógenos (% brix)	0.04	0.10	0.09	0.14

Los agentes microbiológicos, en especial las bacterias como *Leuconostoc mesenteroides* y *L. dextranicum*, también afectan la calidad después del corte. Estas bacterias dan origen a polisacáridos como las dextranas utilizando la sacarosa como materia prima (Figura 7), y contribuyen así, a la pérdida de esta última. Las dextranas son polisacáridos constituidos por unidades de glucosa unidas en forma de cadena recta mediante enlaces α -1.6. Al menos entre 50% y 60% de las uniones deben ser α -1.6 para que el polímero se defina como dextrana, existiendo un amplio rango de pesos moleculares entre ellos, ya que oscilan desde unos miles hasta varios millones de unidades de peso molecular. Las dextranas pueden presentar diferentes ramificaciones en su cadena molecular, dependiendo de la clase de bacteria que las produzca, lo cual causa diferencias estructurales en el polímero.

Además de las pérdidas de sacarosa a consecuencia de la formación de dextranas, estos polímeros incrementan la viscosidad de los jugos, creando problemas en los evaporadores y tachos. Adicionalmente, las dextranas causan elongación de los cristales de azúcar a lo largo del eje "C", lo cual se denomina técnicamente como cristal aguja, incrementando las pérdidas de sacarosa en forma de mieles y aguas de lavado. Las dextranas tienen además la particularidad de elevar los valores del pol, debido a su poder altamente dextro-rotatorio.

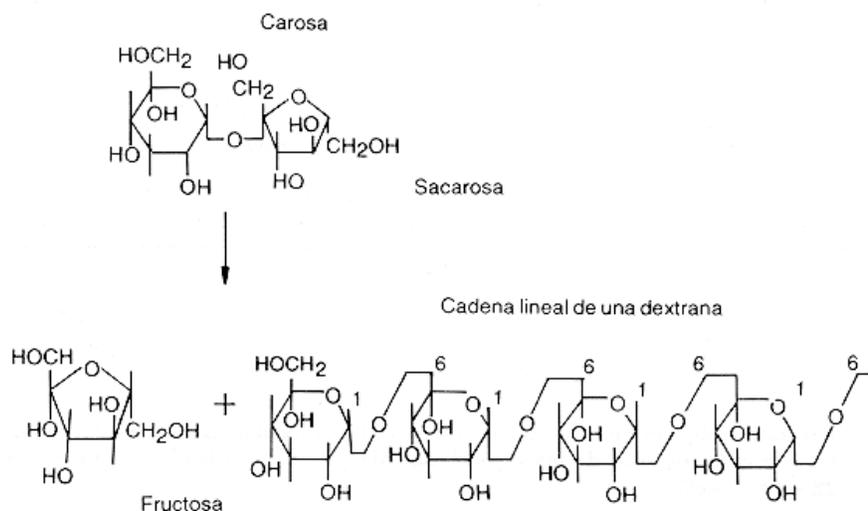


Figura 7. Síntesis general de dextranas a partir de sacarosa.

La síntesis de las dextranas ocurre a partir de la sacarosa (Figura 7), mediante la acción de la enzima dextransucrasa. En cada molécula de azúcar que se consume se utiliza solamente la fracción de glucosa en la síntesis de la dextrana, permaneciendo como subproducto la fructosa, la cual se descompone en ácidos orgánicos y otros productos coloreados que inducen un descenso del pH; lo anterior ocasiona un aumento en la tasa de inversión de la sacarosa por catálisis ácida y contribuye, en consecuencia, al incremento de las pérdidas adicionales de azúcar comercial. Los principales subproductos originados durante la acción microbiológica de *Leuconostoc* y de otros microorganismos como las levaduras (*Saccharomyces*) después del corte de la caña, son los ácidos acético, láctico y butírico, el manitol y el etanol, los cuales ayudan, aún más, al descenso del pH de los jugos y a la síntesis de materiales coloreados.

Las investigaciones de Egan y Rehbein (1963) en Australia demostraron que las poblaciones de *Leuconostoc* se elevan rápidamente cuando la caña se quema y se troza durante la cosecha mecanizada, produciéndose altos niveles de dextranas (Honig, 1960).

Por último, se ha observado que la quema excesiva, aunque facilita la cosecha, también remueve la cubierta serosa de los tallos, causando aberturas o fisuras por donde aparecen exudaciones ricas en azúcares, que son un buen medio de cultivo para *Leuconostoc* y otros microorganismos.

Resumen

En general, se puede decir que para proporcionar a la fábrica una caña de óptima calidad después del corte, es necesario:

1. Optimizar la altura de corte, evitando el envío de cogollos y entrenudos con niveles bajos en sacarosa.
2. Realizar una buena cosecha de caña, quemada o sin quemar, para reducir el contenido de hojas, suelo, cogollos y chulquines en el material que se envía a la fábrica.
3. Cosechar la cantidad exacta de caña requerida por la fábrica y evitar su almacenamiento por más de 2 días en el campo y en los patios de los ingenios.
4. Procesar en las primeras 24 horas la caña que se troza durante la cosecha mecánica, con la finalidad de evitar pérdidas de sacarosa e incurrir en problemas relacionados con la acción microbiana, especialmente de *L. mesenteroides*.

Referencias

- Abernethy, P. E. y Aitken, A. T. 1986. Factors affecting the levels of colour entering a sugar mill. Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol. 1-7.
- CENICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). 1983. Efecto de la materia extraña en la calidad de la caña. En: Informe Anual 1982. Cali, Colombia. p. 136-140.
- _____. 1984. Efecto de la altura de corte en la calidad de la caña. En: Informe Anual 1983. Cali, Colombia. p. 55-56.
- _____. 1983. Efecto de la quema en la calidad de la caña. En: Informe Anual 1982. Cali. p. 140-145.
- Chen, W. 1968. A study of the role of starch in the growth of sugar cane and the manufacturing of cane sugar. Proc. Intern. Soc. Sugar Cane Technol. (ISSCT) 13:351-356.
- Clarke, M. A.; Blanco, R. S.; y Godshall, M. A. 1986a. Colorant in raw sugars. Proceedings. Intern. Soc. Sugar Cane Technol. (ISSCT) 2:670-682.
- _____; Roberts, E. J.; y Godshall, M. A. 1986b. Non-starch, soluble polysaccharides of sugar cane. Proc. South. Afr. Sug. Technol. Assoc. (SASTA) 60:58-61.
- Egan, B. T. y Rehbein, C. A. 1963. Bacterial deterioration of mechanically harvested cup up sugar cane during storage over weekends. Proc. Queensl. Soc. Sugar Cane Technol. 30:11-19.
- Honig, P. 1960. The presence of phosphorus in cane juice. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT), 10th., Hawaii, May 3-22, 1959. Proceedings. Elsevier, Amsterdam, Países Bajos. p. 356-361.

- Imrice, F. K. y Tilbury, R. H. 1972. Polysaccharides in sugar cane and its products. *Sugar Technol. Rev.* 1:291-361.
- Irvine, J. E. 1974. Variations in the ratio of dextrose to levulose in sugar cane. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, (ISSTC) 15th., Durban, South Africa. Proceedings. Hayne and Gibson, Durban. v. 2, p. 1033-1039.
- Larrahondo, J. E. 1983. El deterioro de la caña de azúcar después del corte bajo los sistemas de cosecha mecánica y manual. En: Seminario sobre cosecha mecanizada de la caña de azúcar. Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA), Cali. p. 77-85.
- _____. y Torres, J. S. 1990. Características químicas de variedades promisorias de caña de azúcar en Colombia. *An. Asoc. Quím. Argen.* 78(6):347-353.
- _____.; Yang, S. J.; y Villegas, F. 1989. Chemical and ripening characteristics of sugar cane in Colombia. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT) 20th. São Paulo, Brasil.
- Lionnet, G. R. 1986. An analytical approach for the determination of colour and other impurities in cane. *Proc. S. Afr. Sugar Technol. Assoc. (SASTA)* 60:62-65.
- Meade, G. P. y Chen, J. P. 1977. *Sugar cane handbook*. 10 ed. Willey-Interscience Publication. John Wiley and Sons, Nueva York. 947 p.
- Smith, P. y Paton, N. H. 1985. Sugar cane flavonoids. *Sugar Technol. Rev.* 12:117-142.
- Shafizadek, F.; Furneaux, R. H.; y Stevenson, J. T. 1979. Some reactions of levoglucogenone. *Carboh. Res.* 17:169.
- SMRI (Sugar Milling Research Institute). 1991. Annual Report 1990-1991. Durban.
- _____. 1992. Annual Report 1991-1992. Durban.
- Wang, C. C. 1976. The effect of fertilizer application on sucrose content of sugar cane. *Taiwan Sugar.* 23:167-171.

Cosecha, Alce y Transporte

Fernando Giraldo M.*

Introducción

La parte plana del valle geográfico del río Cauca comprende 430,000 ha, de las cuales 180,000 se encuentran cultivadas con caña para producir azúcar y el resto con caña para panela. Las condiciones de clima y suelo de la región permiten la cosecha de este cultivo durante todo el año y, al igual que en Perú y Hawaii, no existe la cosecha estacional o zafra. Actualmente operan 14 ingenios azucareros, propietarios del 34% de las tierras, con capacidad en planta para procesar 62,000 t de caña en 24 h. En 1993 se cosecharon 15,877,223 t de caña y se produjeron 1,839,540 t métricas de caña verde (T.M.C.V.).

Sistemas de Cosecha

Por lo general, cada ingenio tiene un departamento encargado de coordinar esta labor (Figura 1). En la región existen varios sistemas para la cosecha de la caña de azúcar. Las ventajas y desventajas de cada uno de ellos se presentan a continuación.

Corte manual

El corte manual es una labor dispendiosa que aún se realiza en Colombia debido a la alta disponibilidad de mano de obra; se estima que genera 15,000 empleos directos y 90,000 indirectos.

Como ventajas de este sistema se pueden mencionar: (1) El correcto beneficio de la plantación, ya que permite cortar los tallos a ras del suelo, el descogolle entre hojas verdes y maduras y la colocación ordenada de los tallos en el suelo para el alce mecánico. (2) Facilita la selección inicial del material molinable, desechando los tallos secos y podridos, y los chulquines y las malezas.

No obstante, la quema y el corte manual están siendo cuestionados como resultado de la apertura de nuevos mercados y del impacto de estas prácticas sobre el medio ambiente; por lo tanto, se están evaluando nuevas alternativas para la cosecha.

* Fernando Giraldo es Gerente de Campo del Ingenio Manuelita S. A., Apartado Aéreo 207, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

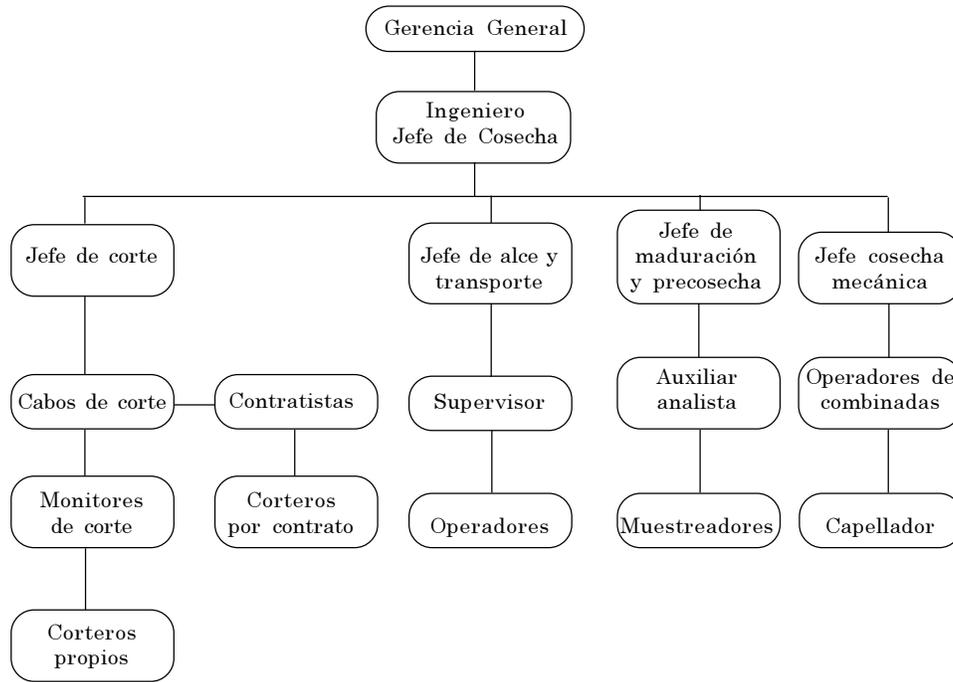


Figura 1. Organigrama del Departamento de Cosecha de un ingenio azucarero.

En un principio, el corte se hacía con machete común de forma recta con el cual se alcanzaba un rendimiento, en promedio, de 2.5 a 3.0 t en 8 h de trabajo, en plantaciones de las variedades POJ 2878, H 50-7209, 38-2915 y 32-8560 y Co 421 sin quemar y con 50% de volcamiento. A mediados de la década de los 70 se introdujo la variedad de caña CP 57-603 de porte erecto y más fácil de cortar. Con la rápida multiplicación de esta variedad y la introducción del machete tipo australiano (Figura 2), los rendimientos en el corte por jornal y por día llegaron hasta 7.5 t de caña verde; sin embargo, la alta susceptibilidad de esta variedad al carbón y a la roya obligaron, a partir de 1988, a sustituirla por otras variedades que no ofrecen las mismas ventajas para el corte con este tipo de machete.

Entre las principales ventajas del machete australiano se pueden mencionar:

1. Presenta un menor riesgo de accidentes, ya que el área de exposición es menor que la del machete común de forma recta.
2. La forma del machete australiano permite un corte a ras del suelo y un mejor descepado, así como también exige una menor inclinación del cuerpo del cortero. Por otra parte, su peso permite el corte de varios tallos a un mismo tiempo.

El éxito de un programa de corte manual de caña depende de la programación anual de actividades que debe ajustarse cada mes de acuerdo con el estado de maduración del cultivo, la variedad y la eficiencia y disponibilidad de mano de obra y maquinaria.

Un “frente de corte” está formado por las personas siguientes: (1) “brechero”, que se encarga de delimitar el área de trabajo a cada cortero; (2) cortero, persona que corta la caña; (3) monitor, docente preparado para enseñar al cortero cómo hacer el corte en forma segura y eficiente; (4) “cabo-corte”, encargado de la asistencia y disciplina del frente de corte; y (5) auxiliar de corte, encargado de vigilar varios frentes en esta actividad.

Se considera que el corte de caña genera 13,000 empleos directos, equivalentes al 35% del empleo total en la industria azucarera, que reciben su remuneración por el sistema de destajo de acuerdo con el tonelaje cortado. Para el control del corte, los ingenios disponen de un sistema de registro que incluye, entre otros datos, la condición del cultivo, la fecha de corte, la hora de inicio y finalización del corte, código de los equipos de alce y transporte. Una vez que la caña se encuentra en los patios del ingenio, se pesa y se toman las muestras necesarias para el cálculo del tonelaje y de los honorarios que se deben pagar a los corteros.

Corte mecanizado

En los últimos años se han realizado algunos ensayos sobre el corte mecanizado; para el efecto se han utilizado máquinas combinadas que cortan, trozan, limpian y alzan la caña directamente al equipo de transporte. También se han ensayado cosechadoras de uno o dos surcos, que cortan la planta, descogollan y separan las hojas, dejando los tallos arrumados en forma perpendicular al surco para el alce en forma mecánica.

Los primeros ensayos se hicieron en 1982 en el Ingenio Providencia con cuatro cosechadoras-trozadoras CLAAS R.C. 1400; posteriormente, CENICAÑA, en cooperación con los Ingenios Manuelita y Cauca, evaluaron una combinada Versatile Toft 6000. Algunas conclusiones con el uso de estos equipos son las siguientes:

1. Para el buen funcionamiento de las cosechadoras mecánicas se requieren variedades de crecimiento erecto y de fácil deshoje, el aporque del cultivo se debe hacer entre 15 y 20 cm de profundidad en el suelo y los surcos deben tener una longitud de 300 m.
2. En épocas de lluvias, el funcionamiento de los equipos es limitado; por lo tanto, la cosecha se debe programar para épocas de escasa precipitación.
3. El contenido de materia extraña es alto (entre 9% y 20%), en comparación con el corte manual (entre 3% y 7%).

En 1992, el Ingenio Manuelita obtuvo resultados aceptables con el uso de una cosechadora Cameco CH. 2000, alcanzando entre 15 y 20 T.M.C.V. por hora de

trabajo, con un porcentaje de 8.5% de material extraño en la época seca y de 12% en la época lluviosa. Actualmente, en este ingenio se utilizan dos cosechadoras “Cameco” y dos Austoft (Figura 3) para la cosecha del 30% de la caña. Con estos equipos se ha obtenido una reducción del 30% en los costos de corte y transporte, en comparación con la cosecha manual y el alce mecánico.

Sin embargo, con la cosecha mecanizada aún existen algunos problemas para los cuales es necesario buscar soluciones. Entre ellos los principales son:

1. Alta presencia de residuos después del corte, que alcanzan entre 40 y 80 t/ha.
2. El manejo de los residuos afecta el vigor de las cepas, las cuales pueden perder entre 10% y 20% de su capacidad para desarrollarse.
3. El encalle se dificulta hasta el punto de que no es posible utilizar el equipo Toft, ya que los residuos en el suelo no permiten pasar de un tablón a otro para hacer las labores de cultivada y abonada. Con este sistema, el encalle 2x1 tiene un costo aproximado de Col. \$60,000/ha.
4. No es posible hacer el aporque en las “suertes” programadas; por otra parte, el riego, la abonada y la cultivada se dificultan con el encalle 2x1 y, cuando se hacen, sólo alcanzan el 50% del área, en comparación con el encalle 4x1.

Transporte desde el Campo hasta la Fábrica

En un principio, la caña de azúcar se transportaba en ferrocarril (Figura 4), con vagones de madera halados por bueyes (Figura 5) y con tractores de ruedas metálicas. A partir de 1935, se empezaron a utilizar los tractores con llantas de caucho adaptados para desplazarse en diferentes tipos de vías, los cuales halaban cuatro vagones con capacidad hasta de 12 t. Este sistema con ligeras modificaciones fue el más común hasta finales de la década de los 60.

A partir de 1970, se introdujo el alce mecánico, lo que posibilitó las labores nocturnas y el suministro de caña a la fábrica durante 24 h. Aparecieron también los vagones EWS de mayor altura y con sistema de descargue tipo “hilo” y a granel (Figura 6).

A medida que los campos se establecieron a una mayor distancia de la fábrica, fue necesario introducir el transporte hasta estaciones de trasbordo en vagones de mayor capacidad acoplados a tractomulas (Figura 7). Debido a los altos costos de este sistema, a los equipos que requiere y a los peligros que implica, a partir de 1982 fue reemplazado por el sistema de vagón hidráulico autodescargable (Figura 8) halado por tractores articulados y de doble transmisión, con 140 HP de transferencia de peso, los cuales entran al campo, donde son cargados con “alzadoras de uña” (Figura 9). Este sistema permite el acoplamiento de la canasta de la alzadora con el doble remolque de la tractomula, reduciendo, de esta forma, el tiempo de espera y mejorando la eficiencia. Se recomienda que la distancia desde el sitio de alce hasta el de descarga no sea mayor de 500 m.

Cosecha, Alce y Transporte



Figura 2. *Machete tipo australiano.*

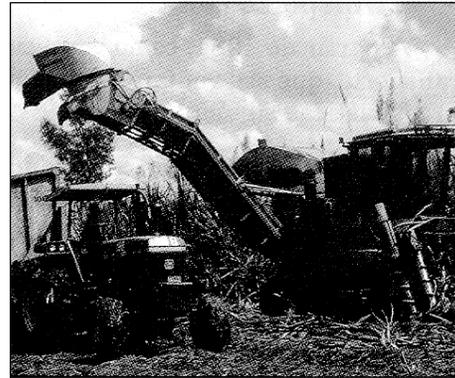


Figura 3. *Cosechadora de caña.*



Figura 4. *Ferrocarril para transporte de caña.*



Figura 5. *Vagones con caña halados por bueyes.*

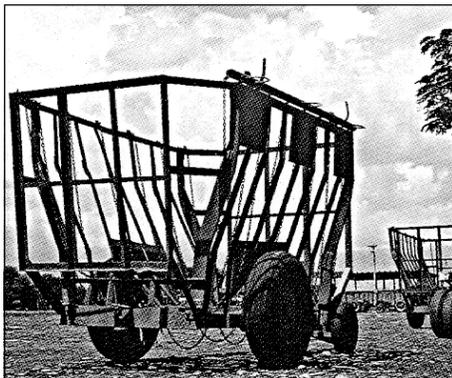


Figura 6. *Vagón tipo EWS.*

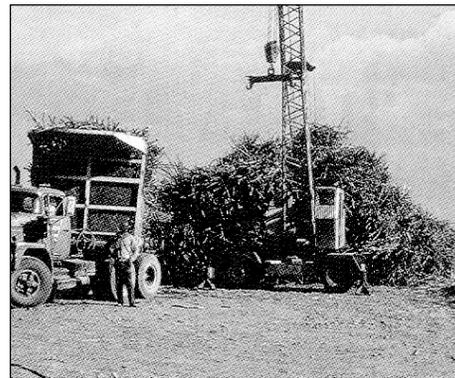


Figura 7. *Estación de trasbordo de caña.*

Transporte con tractores de alta potencia

A partir de 1984, como consecuencia de los altos costos de los sistemas de transporte que se venían utilizando, se desarrolló un nuevo equipo con las características siguientes:

1. Vagones robustos con capacidad para 8 t de caña y baja presión sobre el suelo (alta flotación), diseñados para transportar caña picada o larga, con frenos neumáticos y acondicionados para alcanzar hasta 40 km/h.
2. Tractor con las características anteriores y potencia suficiente para trabajar en suelos con malas condiciones (Figura 10).

Con los equipos anteriores se ha logrado un avance significativo en el transporte. En la actualidad, con 15 tractores de alta potencia y 50 vagones es posible transportar 4200 t de caña por día, lo cual con los sistemas anteriores requería 350 vagones tipo "hilo" y 36 tractores. Para mejorar aún más el sistema se introdujo el alce continuo, que incrementa la densidad de la caña 20% más y permite trabajar bajo condiciones adversas de clima (Figura 11).



Figura 8. Sistema autodescargable de caña.



Figura 9. Alce mecánico por el sistema de "uña".



Figura 10. Tractor con tracción en los tres ejes y vagón robusto.



Figura 11. Alzadora continua de caña.

Manejo de la Caña para Cosecha en Estado Verde

James H. Cock*

Introducción

La alta presión de la comunidad y el plazo del Gobierno hasta el año 2005 para suspender las quemas, han obligado al sector azucarero a buscar alternativas para la cosecha de la caña en estado verde —caña cortada sin quema previa. El manejo de las quemas, con base en el análisis de los vientos y de horarios para su realización, es un procedimiento cada vez menos aceptado; la producción de pavesa provoca, en algunos casos, problemas en las comunidades que habitan en el área de influencia de los ingenios.

La cosecha de la caña en estado verde implica dos grandes retos para el sector; por un lado, la cosecha en sí, y por otro, el manejo de los residuos en el campo. No obstante, su aplicación traería beneficios, ya que se disminuiría la contaminación del ambiente, se mejoraría la estructura de los suelos y su fertilidad, se requeriría menos agua y aplicación de herbicidas en la etapa inicial de crecimiento del cultivo que se traducirían en mayores rendimientos en azúcar.

La tecnología para el manejo y cosecha de caña verde todavía no está desarrollada en su totalidad; pero existen algunas prácticas alternativas que se pueden aplicar con éxito, entre ellas: adecuación de campos, manejo del cultivo para producir caña erecta con alta sacarosa, manejo de residuos poscosecha y uso de variedades que produzcan pocos residuos.

Variedades

La cosecha de caña verde requiere variedades erectas de buen deshoje y con alto contenido de sacarosa para disminuir los efectos negativos de la materia extraña. CENICAÑA, en sus programas de investigación, ha tenido en cuenta estas características para el desarrollo de nuevas variedades. En 1995, una de las variedades más sembradas fue la PR 61-632, que reúne las condiciones anteriores, excepto el contenido de sacarosa, que no es tan alto como se desearía. Una nueva variedad, la CC 85-68, se empezó a sembrar en ese mismo año con resultados bastante alentadores; los rendimientos con cosechadoras combinadas fueron 60% más altos con esta variedad que con otras tradicionales, y el rendimiento de los corteros cuando se cosechó en estado verde fue similar al alcanzado con variedades tradicionales quemadas antes del corte. Además de esta variedad, en CENICAÑA se está evaluando una serie de clones promisorios para la cosecha en estado verde.

* James H. Cock es Ing. Agr., Ph.D. Director de CENICAÑA. Apartado Aéreo 9138, Cali, Colombia.

Adecuación del Campo

Es probable que en un futuro inmediato se imponga la cosecha de la caña en verde y, para reducir costos, ésta será mecanizada. Esta labor exige la adecuación de los campos para garantizar la eficiencia de la maquinaria. Entre las labores de adecuación se pueden mencionar, principalmente: (1) el aporque de las cañas de alto tonelaje para facilitar la permanencia de las cosechadoras en los surcos y garantizar el corte basal y el manejo de los residuos, (2) la mayor extensión de los surcos para aumentar la eficiencia de corte, y (3) la disposición de canales de drenajes y riego en forma más espaciada o construidos en tubería de polivinilo, con el fin de evitar los obstáculos al tránsito de la maquinaria.

Prácticas de Manejo Agronómico del Cultivo

Como se mencionó antes, las cañas erectas son importantes para la cosecha en verde, y las prácticas de manejo tienen influencia sobre su volcamiento.

Distancias de siembra. En las gramíneas de crecimiento erecto generalmente a menor densidad de plantas hay menor volcamiento, y esto se aplica también a la caña. Los resultados de los ensayos en CENICAÑA muestran que con variedades de alto tonelaje la reducción del número de cepas por hectárea hasta 7100, no afecta significativamente la producción, pero sí reduce el volcamiento. Los resultados de algunos ensayos indican que, a menor densidad de plantas, el contenido de sacarosa también es menor; sin embargo, en variedades con cierto grado de volcamiento y manejadas en forma adecuada no se han observado efectos negativos sobre el contenido de sacarosa. Por lo tanto, es posible reducir la población de plantas mediante mayores distancias de siembra, pasando de bandereos (distribución en el campo de paquetes de 30 esquejes) cada 10 a 12 m a bandereos cada 18 ó 20 m, o también, sembrando con esquejes distanciados 60 cm.

En las plantaciones, alcanzar una baja densidad de plantas es un proceso lento, pero que se puede lograr en forma progresiva mediante su renovación, sembrando plantillas que generalmente presentan mayor volcamiento con esas bajas densidades. Una alternativa para la siembra a baja densidad de plantas de caña es el uso de yemas pregerminadas en siembra mecanizada, con lo cual se mantienen altos rendimientos, se reduce el volcamiento y se facilita la cosecha en verde. Se espera que en el futuro éste será el sistema de siembra más utilizado en el valle geográfico del río Cauca.

Edad al corte. Los altos tonelajes están relacionados con alto volcamiento. En consecuencia, es casi imposible producir cañas erectas con producciones superiores a 150 t/ha. Una alternativa para mantener una alta productividad sin volcamiento de plantas sería disminuir la edad al corte; así, con la aplicación de madurantes en muchas de las variedades actualmente cultivadas es posible alcanzar altas producciones con cortes a los 12 ó 13 meses de edad. Con el sistema tradicional, la edad al corte de la caña en la región varía con la capacidad de cosecha y de molienda de los ingenios. Lo anterior indica que cuando la producción

es mayor que la capacidad de molienda, las edades al corte aumentan, se presentan problemas de volcamiento, reducciones en productividad en términos de toneladas de caña por hectárea por mes y en el contenido de sacarosa. Adicionalmente, las socas provenientes de cañas cosechadas a edades tardías son menos productivas que aquéllas cosechadas a edades óptimas.

Mientras los ingenios mantengan reservas de caña en el campo para garantizar el funcionamiento de las fábricas durante todo el año, las variaciones en la edad de cosecha probablemente serán recurrentes. Por los altos costos que esto representa, tal vez sería mejor asegurar la cosecha a edades óptimas mediante una capacidad de molienda ligeramente mayor a la producción de caña. Con este manejo, la producción total de azúcar no disminuiría si se maneja la caña hacia la producción de azúcar y se utilizan estrategias a corto plazo para ajustar la producción de caña a la capacidad de molienda.

Fertilización y riego. La fertilización nitrogenada y la aplicación de riego en la fase final del cultivo de la caña favorecen la producción y disminuyen el rendimiento de azúcar. Por tanto, el manejo de estos dos factores es útil para mantener el balance entre capacidad de molienda y producción de caña en el campo, tal como ocurrió en 1993 en el Ingenio Sancarlos. En este ingenio, previendo que se presentaría un exceso de caña, optaron por reducir la aplicación de nitrógeno en 50% durante 6 meses, con lo cual no se afectó la producción final de azúcar.

En 1994, el Ingenio Mayagüez, con la ayuda de CENICAÑA, ensayó la posibilidad de aumentar los rendimientos en azúcar, sin preocuparse si las producciones de caña bajaban y, a la vez, equilibrando su presupuesto de corte y maximizando su rentabilidad. Para el efecto, se disminuyeron las aplicaciones de nitrógeno y se eliminó el último riego del cultivo, con lo cual se encontró que, aunque la variedad MZC 74-275 no responde bien, los resultados preliminares sí fueron promisorios. Es importante tener presente que la disminución en el riego debe hacerse en la etapa final del cultivo, ya que si esto ocurre en edades tempranas en la época de rápido crecimiento se baja la producción de caña y no se presenta compensación en el contenido de sacarosa. En consecuencia, cuando se prevé que las edades al corte van a ser mayores, es recomendable ajustarlas mediante las prácticas antes mencionadas —reducción en la cantidad de nitrógeno aplicado y eliminación del último riego en cultivos tradicionales. Esta recomendación es especialmente válida en variedades de alto tonelaje que tienden a volcamiento, de fácil implementación en tierras propias o de cuentas en participación, posible en el caso de contratos por rendimiento, pero difícil bajo producción en contrato por peso de caña.

Corte mecanizado. Las experiencias en el Ingenio Manuelita y en CENICAÑA muestran que es posible cosechar en forma mecanizada la caña en estado verde. A pesar de los problemas de baja eficiencia en el corte y los altos niveles de materia extraña en las condiciones actuales, los costos han resultado similares, y aún menores que los del corte manual. Pero si se disminuyen las edades al corte y se establecen variedades erectas, es posible aumentar la

eficiencia de la maquinaria y disminuir la materia extraña, especialmente el contenido de cogollos.

Las cosechadoras combinadas probadas hasta ahora en Colombia tienen principios mecánicos similares y los resultados comerciales alcanzados con ellas entre 1993 y 1995 han sido satisfactorios. Las cosechadoras comerciales de caña para producciones superiores a 90 t/ha son combinadas y trozan la caña, y este sistema no permite el arrume de ésta en los patios. Esto exige una molienda rápida de la caña después del corte, lo que no tendría limitaciones en zonas secas; mientras que en las zonas húmedas puede ocasionar parálisis de las fábricas por falta de caña en las épocas lluviosas, cuando es imposible hacer la cosecha mecanizada en forma continua. En Australia, donde existe una amplia experiencia en cosecha de caña verde con máquinas combinadas, se suspende la cosecha cuando se presentan lluvias intensas. Para evitar esta situación, lo ideal sería desarrollar una cosechadora para caña verde entera que permita arrumar la caña en los patios durante los períodos de alta probabilidad de lluvias.

En E.U. y Brasil existen máquinas denominadas «soldado», que se utilizan con éxito en campos que producen hasta 90 t/ha, pero en Colombia no han dado buen resultado y sus posibilidades son bajas. En 1995, una compañía fabricante de maquinaria, con el apoyo de CENICAÑA y del sector azucarero, terminó el diseño y construcción de un prototipo de cosechadora para caña verde entera, pero es poco probable que esté disponible en el mercado antes de 1997 debido a las pruebas y ajustes previos que requiere.

Manejo de residuos. Este es probablemente el punto más débil en el manejo de la cosecha de la caña en verde. En los Ingenios Providencia y Manuelita, la cosecha en época lluviosa y en estado verde de las variedades V 71-51, que produce alta cantidad de residuos, y MZC 74-275, que tiene una producción media de residuos, resultó en una alta cobertura en el suelo y en un exceso de humedad en épocas lluviosas. Esta condición puede derivar en la presencia de problemas fitosanitarios que inciden en la germinación de las cepas; no obstante, en sitios donde los suelos son más permeables y las cepas aporcadas se encuentran por encima del promedio de la superficie del suelo, estos problemas no se presentaron y el desarrollo de la caña fue normal.

En CENICAÑA se encontró que los residuos frescos y húmedos, provenientes de la caña cosechada en estado verde, tienen efectos fitotóxicos que reducen la germinación de la caña y de las malezas. Esto abre la posibilidad de utilizarlos en el control de estas últimas sin afectar la caña. En los Ingenios Manuelita y Cauca se encontró en época seca que estos residuos no afectan la germinación de las plantas, pero sí dificultan las labores de cultivo.

Aporque y picado de residuos. Teniendo en cuenta las observaciones anteriores, parece lógico pensar que la solución más viable a estos problemas consiste en efectuar un buen aporque del cultivo combinado con el picado de los residuos. Con la primera labor se elevan las cepas sobre la superficie del suelo y se evitan los problemas del exceso de humedad; por otra parte, se espera que las lluvias laven los residuos picados hacia el fondo del surco y dejen las cepas libres.

CENICAÑA ha diseñado un aporcadore de discos modificado para estas labores con resultados promisorios hasta el presente.

Aunque en Australia y Florida, E.U, se utilizan con éxito picadoras de martillo para el manejo de residuos, en Colombia éstas no han sido eficientes debido al alto volumen que aquí se maneja. Mientras no se desarrolle una picadora eficiente, se recomienda hacer el aporque para reducir el efecto negativo de la humedad producida por los residuos sobre el desarrollo de la caña, aunque con esto no se solucionan los demás problemas que representan para el levantamiento de las socas.

Una alternativa posible para reducir el volumen de residuos es la aplicación de madurantes a la caña, ya que éstos permiten reducir el crecimiento de los cogollos y hacer cortes a mayor altura. Para el uso correcto de estos productos se sugiere consultar el capítulo respectivo en este libro.

Tiempo entre el Corte de la Caña y la Molienda

El efecto de la quema de la caña sobre los rendimientos es difícil de cuantificar; no obstante, en Brasil, Australia y Colombia se considera que puede ser de 0.5 puntos porcentuales. Por otra parte, en Colombia con el sistema tradicional de quema y corte de la caña, el tiempo entre este último y la molienda puede ser hasta de 50 horas. Los estudios experimentales muestran que por cada hora transcurrida después de la quema, las pérdidas de sacarosa pueden alcanzar hasta 0.4%, parte de lo cual se debe a pérdida de peso y de rendimiento.

Con la cosecha de caña en estado verde se reduce el tiempo para llegar a molienda. En 1994, en el Ingenio Providencia se observó que el promedio del rendimiento, corregido para materia extraña, de un lote cosechado en estado verde fue entre 0.5 y 1.0 puntos mayor que aquel alcanzado en caña que había sido quemada. Esto sugiere que el aumento en rendimiento se debió a la caña fresca. Además, si la cosecha se mecaniza, sería posible reducir aún más los tiempos de permanencia —menos de 18 horas— tal como ocurre en Australia.

La tecnología de cosecha en caña verde implica la presencia de grandes cantidades de materia extraña, especialmente si no se utilizan variedades aptas para este tipo de cosecha y si no se manejan más hacia azúcar que a toneladas de caña. Lo anterior significa tener un sistema de pago con base en la calidad de la caña.

Análisis de la Productividad en la Agroindustria Azucarera de Colombia y Perspectivas para Aumentarla

C. A. Luna González, J. H. Cock, [A. E. Palma](#), L. V. Díaz y C. A. Moreno*

Introducción

El entorno en el cual se desenvuelve la agroindustria azucarera colombiana ha venido cambiando aceleradamente en los últimos años. Actualmente, se plantea que si se quiere alcanzar un nivel de competitividad importante en el mercado mundial, no es posible seguir produciendo azúcar como se ha venido haciendo hasta ahora.

Por un lado, las reglas de juego macroeconómicas determinadas por una sostenida revaluación del peso colombiano y la apertura de la economía, han incidido en que cada vez sea más difícil conseguir precios reales en el mercado interno iguales a aquellos que tradicionalmente se han logrado. Por otra parte, la industria ha expandido su capacidad de molienda y el área sembrada en caña para producir azúcar, a la vez, que exporta más tanto en cantidad como en proporción del total producido (Figura 1).

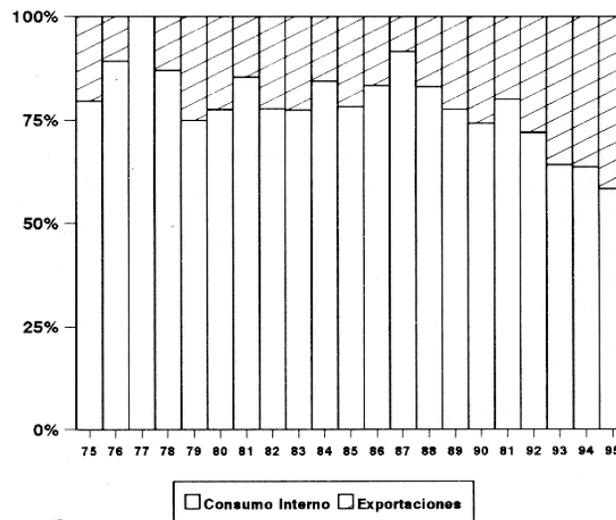


Figura 1. *Distribución de la producción de azúcar en el valle geográfico del río Cauca entre 1975 y 1995.*

* Respectivamente: Economista y estadístico, jefe del Servicio de Análisis Económico; Director General; Biometrista; Economista; y Biometrista de CENICAÑA, Apartado Aéreo 9138, Cali, Colombia.

El precio real doméstico del azúcar ha tendido a ser estable y ha mantenido un diferencial en relación con el precio en los mercados mundiales, pero este diferencial tiende a desaparecer haciendo que ambos precios se acerquen, lo cual implica dos peligros que se deben enfrentar: (1) los precios del azúcar en los mercados mundiales son muy variables, ya que su comercio es básicamente un mercado de producción residual influenciado por la especulación y por los mercados de futuros, y (2) el hecho de haber permanecido la economía de Colombia cerrada durante varios años, favoreció la prevalencia de una serie de ineficiencias, como el pago de la caña por su peso y no por su calidad. Estas ineficiencias deben superarse a corto plazo si se quiere sobrevivir en un nuevo ambiente cada vez más competido.

Para enfrentar los peligros antes mencionados se plantean como estrategias: (1) sostener la rentabilidad de la industria, y (2) desarrollar mecanismos para evitar que el precio mundial arrastre el precio interno hacia una alta variabilidad. Actualmente, cuando se exporta aproximadamente el 40% del azúcar que se produce, hay una crisis de ingresos en el sector que ha llevado a los administradores a plantear esquemas de reducción de costos, especialmente en recorte de personal —reducciones éstas sin mayores avances en los costos variables. No obstante, estos recortes deben ser graduales para que no sean traumáticos en el proceso productivo. Existen estudios de asesores internacionales (McKensey, n.p.) que muestran que muchos de los ingenios no sobrevivirán a medida que la cuota de exportación crezca o que el diferencial en precios se reduzca, o cuando ambos eventos se produzcan al mismo tiempo, a menos que se adopten medidas eficaces para evitar esta realidad; como ejemplo, se cita el caso de Australia, un productor que tiene bajos costos de producción y comercialización, donde se considera actualmente un precio de venta de US\$0.06 por libra de azúcar como punto de equilibrio en el cual no se pierde ni se gana.

En este capítulo se analizan varias alternativas mediante las cuales es posible lograr, no sólo aumentos en la productividad física marginal, sino también mayores ingresos y garantizar la viabilidad futura de la industria. Se demuestra cómo se pueden obtener mayores reducciones en los costos mediante aumentos en la productividad de azúcar por rendimientos y no únicamente por recortes en los costos administrativos o de funcionamiento de las empresas. De la misma manera, se demuestra cómo algunos cambios en los sistemas de producción posibilitan inversiones rentables que garantizan la competitividad externa del sector mediante una base sólida de eficiencia técnica y de costos.

Desde 1990, CENICAÑA ha mantenido un flujo constante de información de resultados de la gestión comercial de los ingenios de la región, lo cual ha permitido mejorar la comunicación sectorial y, mediante el análisis de datos, tomar decisiones que ayudan a un proceso de aprendizaje continuo sobre cómo eliminar una serie de actividades que agregan costo y no valor.

Análisis de Largo Plazo de las Principales Variables de Productividad

El análisis de las tendencias en la evolución de las variables de producción generadas en la industria azucarera entre 1960 y 1994, permite visualizar los cambiantes escenarios en donde se ha movido el sector, lo que constituye una herramienta para dirigir de manera acertada la evolución de la productividad en el futuro, con base en las mejores oportunidades que se presentan.

Es posible que existan dudas sobre algunos datos, en particular sobre aquellos más antiguos. Pero el estudio de las tendencias a través del tiempo es más confiable que muchos de los análisis puntuales. El análisis de largo plazo se ha abordado de dos maneras: (1) mediante la caracterización de los cambios anuales presentados en las variables de interés, en cada uno de los siete quinquenios entre 1960 y 1994, y (2) el ajuste de modelos para caracterizar las tendencias de las principales variables en un período largo de tiempo.

La metodología utilizada consistió en ajustar los modelos —ecuaciones de regresión— que mejor describen la tendencia de los datos. Aunque estos modelos sólo sirven para interpolar los resultados, sin embargo, si se entienden bien los mecanismos que hay detrás de ellos, también pueden utilizarse con cautela para extrapolarlos y visualizar las condiciones futuras de desarrollo de dichas variables.

Cambios anuales en las variables de productividad en los quinquenios comprendidos entre 1960-1994

En el Cuadro 1 se observa que los mayores cambios positivos en el tonelaje de azúcar por hectárea (TAH)/cosecha en los quinquenios comprendidos entre 1960 y 1964, 1970 y 1974, y 1990 y 1994, coincidieron con los mayores cambios en el tonelaje de caña por hectárea (TCH)/cosecha. A partir de 1970 y hasta 1984 se presentaron cambios negativos en rendimiento. Las edades al corte presentaron

Cuadro 1. Promedio de los cambios anuales en algunas variables de productividad de la caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca, Colombia.

Período (quinquenio)	Edad al corte	TAH-cosecha	TCH-cosecha	Rendimiento (%)	TAHM	TCHM
1960 - 1964	0.23	0.64	0.70	0.36	0.040	0.098
1965 - 1969	-0.39	0.07	0.22	0.04	0.020	0.133
1970 - 1974	0.32	0.33	3.15	-0.02	0.007	0.324
1975 - 1979	-0.24	-0.04	0.75	-0.10	0.006	0.124
1980 - 1984	-0.17	-0.28	-1.40	-0.11	0.008	-0.008
1985 - 1989	0.01	-0.08	0.00	-0.06	-0.003	-0.003
1990 - 1994	0.29	0.63	6.16	-0.03	0.013	0.144

TAH = Toneladas de azúcar/ha. TCH = Toneladas de caña/ha. TAHM = Toneladas de azúcar/ha/mes.
TCHM = Toneladas de caña/ha/mes.

cambios negativos en los quinquenios 1965 a 1969 y 1975 a 1984, y las TAH por mes presentaron, igualmente, cambios negativos entre 1985 y 1989 y las TCHM entre 1980 y 1989.

Tendencias en el largo plazo

Productividad de azúcar. Las TAH/cosecha mostraron una tendencia general a crecer entre 1960 y 1994. El mayor crecimiento ocurrió entre 1960 y 1974. A partir de 1975 y hasta 1984, la tasa de incremento fue menor y se estabilizó alrededor de 13 TAH/cosecha entre este último año y 1990 para volver a aumentar entre 1992 y 1994 (Figura 2).

Las TAH/cosecha resultan al combinar las TCH/cosecha y el rendimiento en azúcar recuperado por tonelada de caña.

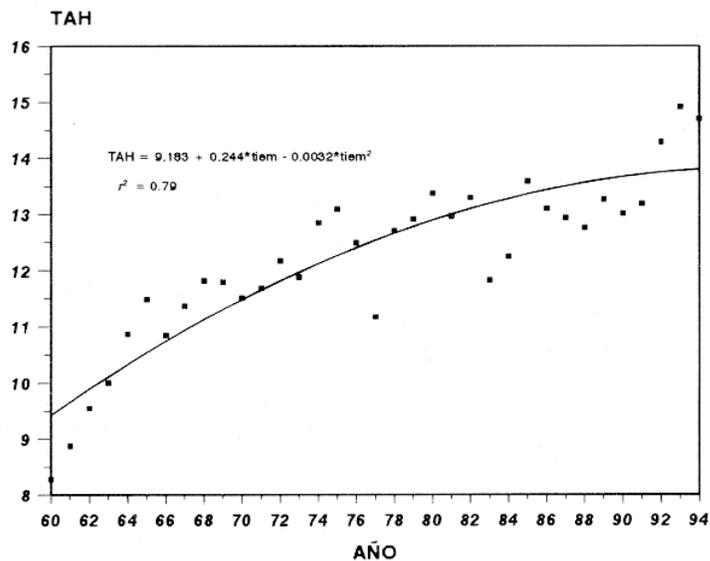


Figura 2. Toneladas de azúcar por hectárea cosechadas entre 1960 y 1994 en el valle geográfico del río Cauca.

Rendimiento comercial. Los promedios anuales de rendimiento comercial entre 1960 y 1994 no muestran una tendencia definida a aumentar o disminuir y se mantienen alrededor de 10.84% (Figura 3). Esto indica que la industria básicamente ha sostenido sus rendimientos, ya que el 92% de los promedios se encuentra dentro de un rango de ± 1 desviación estándar alrededor de dicho promedio; se exceptúan los promedios más altos que ocurrieron en 1976 y 1992—años muy secos—y el promedio más bajo de 1960.

Con base en estos análisis se puede decir que el reto más importante que enfrenta la industria azucarera en Colombia es romper la estabilidad en los

rendimientos; debido a que si no se alcanza una mayor concentración de azúcar por tonelada de caña, se reducen las opciones para mantener o mejorar la competitividad actual. Otras alternativas serían disminuir los costos y avanzar en la comercialización, armas con las cuales es posible equilibrar, hasta cierto punto, el efecto del manejo en la tasa de cambio. Lo importante es mantener un nivel sólido de productividad, que permita cierto umbral de manejo para que la política cambiaria no afecte el sector y, para permitir, inclusive, cierto grado de revaluación.

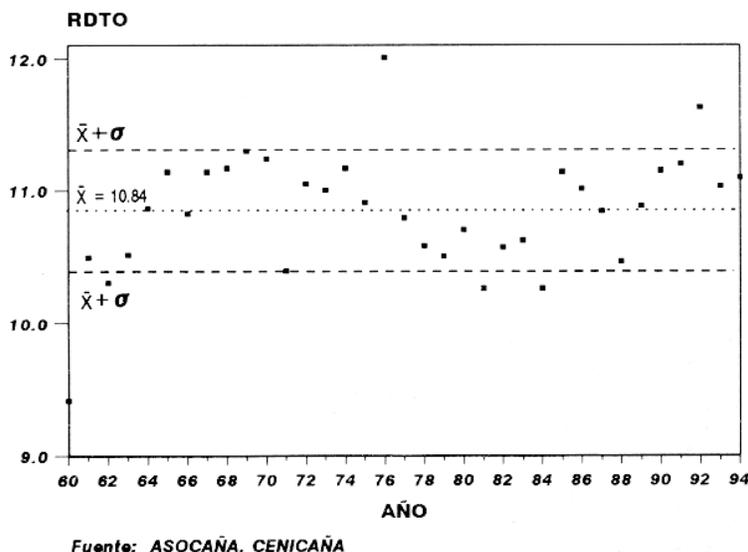


Figura 3. Promedios anuales de rendimiento comercial de la caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca entre 1960 y 1994.

Productividad de caña. Las TCH/cosecha en la región muestran una tendencia a crecer en el largo plazo. En la Figura 4 se observa que entre 1960 y 1979 fueron altas; entre 1980 y 1992 se mantuvieron alrededor de 120 t, y a partir de 1993 crecieron considerablemente. Este crecimiento coyuntural se debe, en parte, al aumento en la edad al corte de las cañas, a que las cosechas en 1991 y 1992 se realizaron en épocas secas; a la respuesta diferencial de las variedades a cambios en el clima, principalmente a mayores lluvias, como ocurrió en 1993; al mayor porcentaje de área en los primeros cortes; y a la mayor diversidad en la composición varietal actual.

Edad de la caña al corte. Desde 1960 hasta finales de la década de los 70, el promedio de la edad al corte de la caña fue de 19 meses. Posteriormente, con la introducción de variedades como la CP 57-603 y otras, la tendencia fue disminuir dicha edad y en 1991 se encontraba alrededor de los 13 meses. En la Figura 5 se observa que entre 1976 y 1992, la industria azucarera colombiana redujo en 13 días/año la edad al corte de la caña. No obstante esta tendencia se ha visto interrumpida en los últimos años debido al desequilibrio existente entre

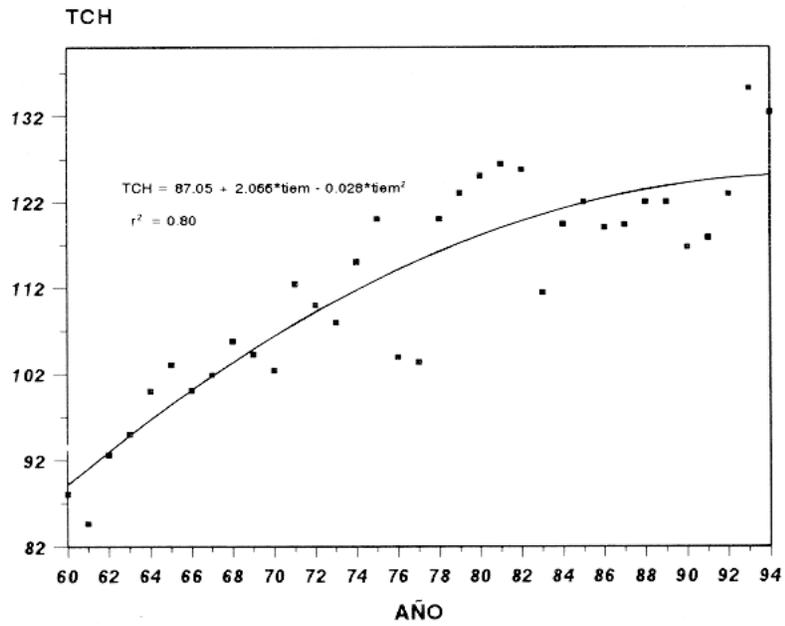


Figura 4. Toneladas de caña producidas por hectárea y por cosecha en el valle geográfico del río Cauca entre 1960 y 1994.

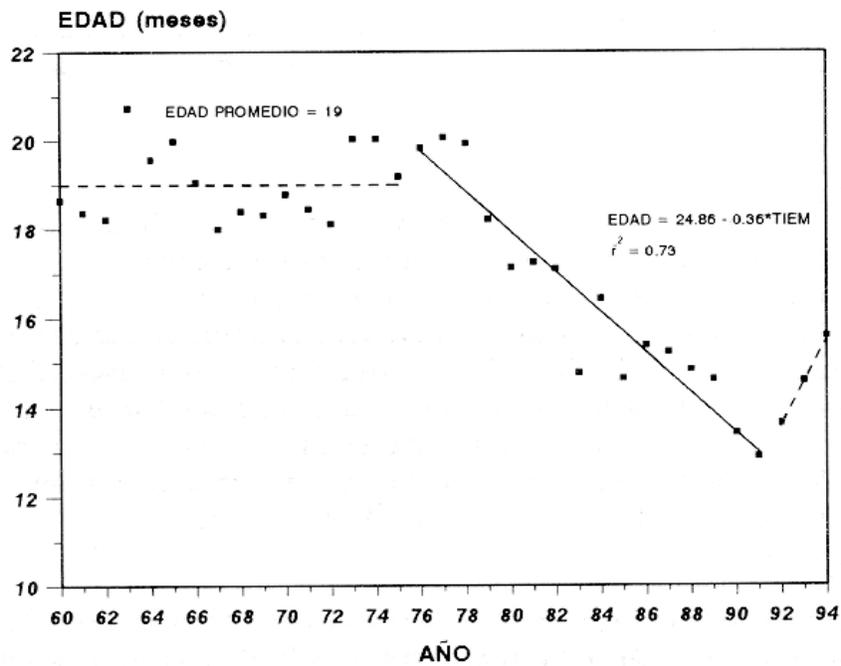


Figura 5. Promedio de la edad al corte de la caña en el valle geográfico del río Cauca entre 1960 y 1994.

la expansión del área sembrada con caña y la capacidad de molienda ampliada, lo cual afecta la relación entre área cosechada/área cultivada. Entre 1960 y 1975, esta relación fue alrededor de 0.63 y permaneció más o menos estable; creció entre 1976 y 1991 (0.80); y a partir de 1991 tendió a disminuir (Figura 6). Actualmente, la tendencia es hacia cortes a edades tempranas, con algunas fluctuaciones coyunturales como la expansión en área ocurrida entre 1991 y 1994.

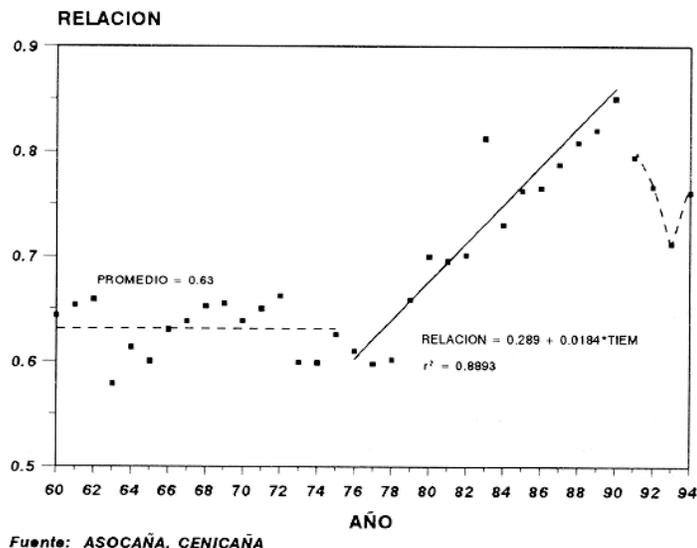


Figura 6. Relación entre las áreas cosechadas y bajo cultivo de caña en el valle geográfico del río Cauca entre 1960 y 1994.

La información aquí presentada indica que una de las situaciones coyunturales que más influye en la edad al corte es el cambio en el área total cultivada, la cual depende de las decisiones administrativas que pretenden equilibrar el plan de molienda con la disponibilidad de caña en el campo. Así, entre 1979 y 1990 el área en caña fue estable y la industria tendió a disminuir la edad al corte de la caña; por el contrario, entre 1972 y 1979 y entre 1991 y 1994 la tendencia fue hacia mayores edades al corte (Figura 5). Un hecho que muestra que es posible crecer sin los traumatismos que implica perder el control sobre la edad al corte ocurrió entre 1966 y 1972, época durante la cual se presentó un crecimiento en el área sembrada y se manejaron edades al corte tardías, pero inferiores al promedio de la época (Figura 7).

En resumen, la edad al corte de la caña es la variable sobre la cual los productores deben tener el mayor control, ya que es fundamental para determinar la rentabilidad total del negocio agroindustrial. Los análisis de los datos de 1994 indican que a edades mayores de 15 meses se baja la producción de azúcar por hectárea por mes, debido a los bajos rendimientos que se obtienen e edades tardías. Por lo tanto, el sector azucarero debe desarrollar modelos de decisión que le

ayuden a evaluar los efectos que algunas decisiones administrativas o fallas de planificación tienen sobre la rentabilidad de esta agroindustria. El hecho de poder cuantificar previamente con un modelo las consecuencias e impacto de una decisión ayuda a su reconsideración, modificación o a plantearla nuevamente.

Area bajo cultivo. El área bajo cultivo con caña en la región se ha caracterizado por presentar una tendencia al crecimiento. No obstante, entre 1960 y 1964 y entre 1979 y 1990 permaneció estable (Figura 7).

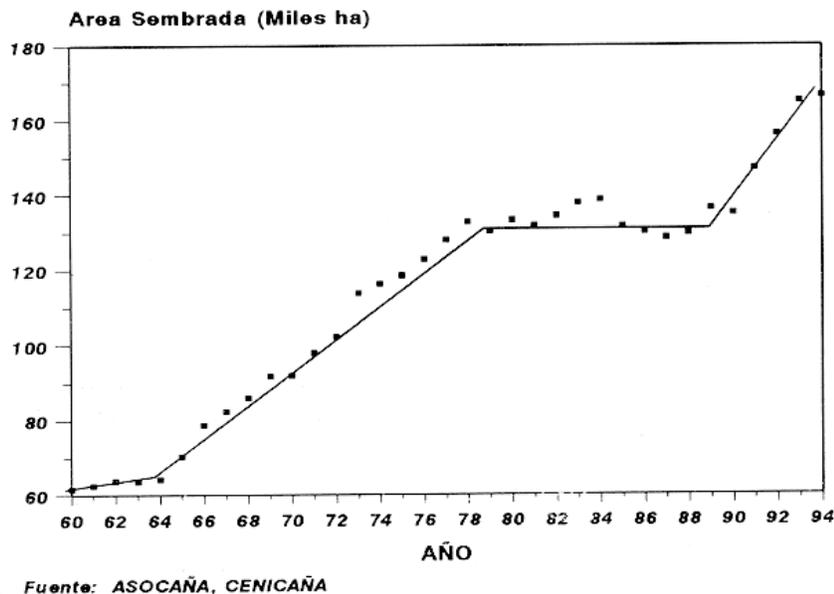


Figura 7. Variación anual en el área bajo cultivo con caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca entre 1960 y 1994.

Productividad y edad al corte. Otra forma común de expresar la productividad del cultivo de la caña es en toneladas de azúcar o de caña por hectárea y por mes (TAHM, TCHM), medidas que indican productividad física por hectárea en un mismo tiempo, lo que permite comparar los resultados obtenidos por unidad de área a diferentes edades de cosecha.

Las TAHM han crecido en forma sostenida a razón de 15 kg de azúcar en los últimos 35 años. Un comportamiento similar se ha observado con las TCHM, siendo su tasa de crecimiento en el mismo período de 134 kg. Esto significa que entre 1960 y 1994 ambos parámetros duplicaron su valor pasando las TAHM de 0.5 a 1.0 y las TCHM de 4.5 a 9.0. Es necesario señalar que las TAHM crecieron a una mayor tasa (2%) entre 1978 y 1994 que entre 1960 y 1978 (0.8%). Igual tendencia se observó con las TCHM que aumentaron a razón de 60 kg de caña en el primer período y de 146 kg en el segundo (Figuras 8 y 9).

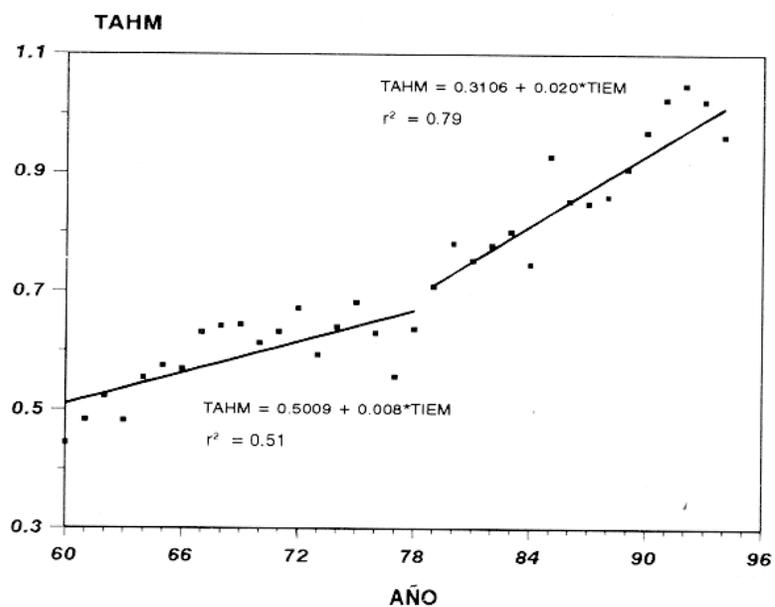
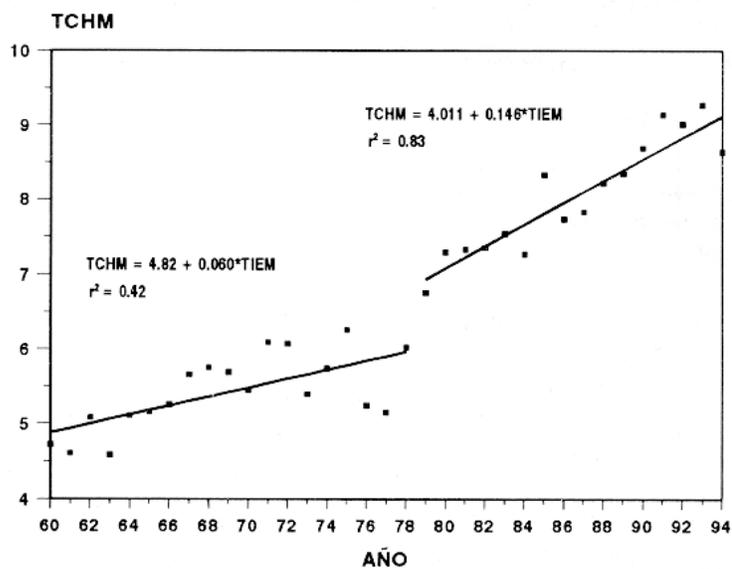


Figura 8. Toneladas de azúcar producidas por hectárea y por mes en el valle geográfico del río Cauca entre 1960 y 1994.



Fuente: Asocaña, Cenicaña

Figura 9. Toneladas de caña producidas por hectárea y por mes en el valle geográfico del río Cauca entre 1960 y 1994.

Un factor que incide en los valores de los parámetros anteriores es la edad al corte. A edades tardías, estos valores son más bajos y, viceversa, a edades tempranas son más altos (Figura 10). La tendencia en el sector azucarero es hacia la maximización de la rentabilidad por unidad de tiempo y la rotación del dinero mediante el aumento en producción de azúcar y de caña con cortes a edades tempranas (Figura 11 y 12).

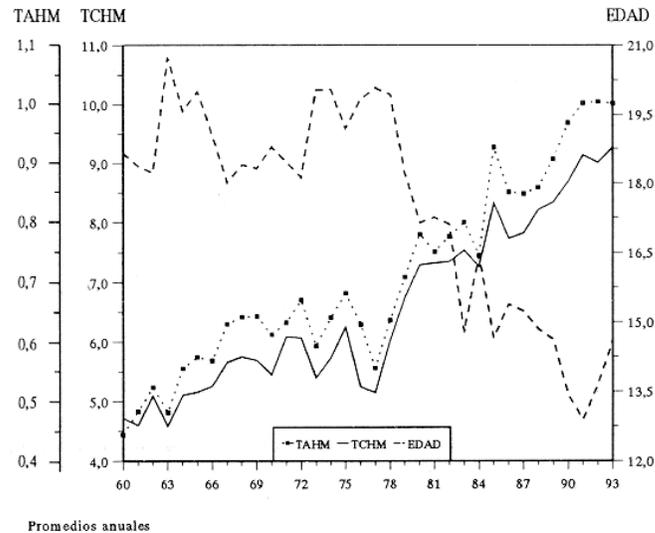


Figura 10. Toneladas de azúcar y de caña producidas por hectárea y por mes y edad a la cosecha de la caña en el valle geográfico del río Cauca entre 1960 y 1993.

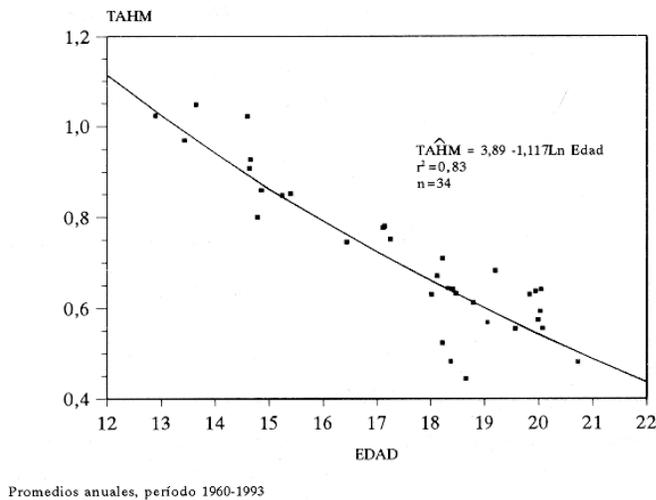


Figura 11. Toneladas de azúcar producidas por hectárea y por mes según la edad al corte de la caña. Valle geográfico del río Cauca.

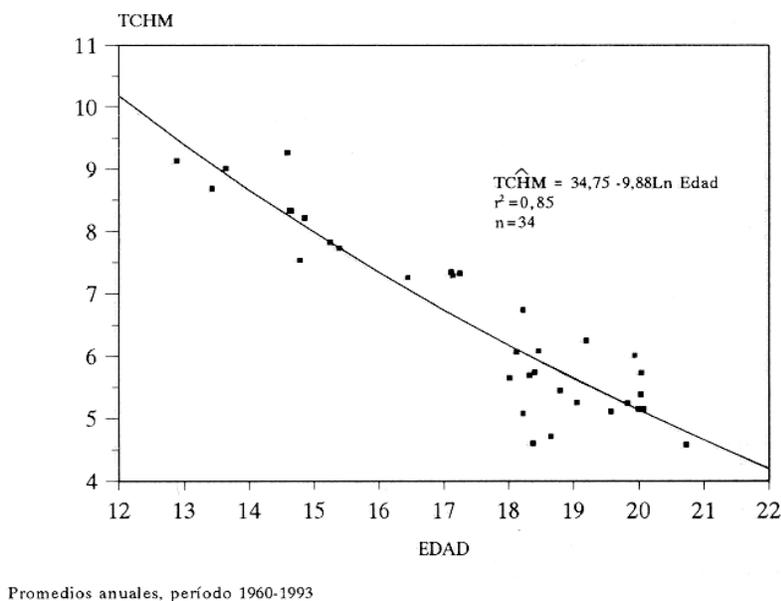


Figura 12. Toneladas de caña producidas por hectárea y por mes según la edad al corte de la caña. Valle geográfico del río Cauca.

Productividad de Azúcar en Colombia y Comparación con la de Otros Países

La zona azucarera de Colombia es una de las más productivas del mundo, en términos de azúcar por hectárea por cosecha. Si bien en Hawaii se han alcanzado producciones de 25.5 TAH por cosecha, y en Burdekin, Australia, hasta de 16.3TAH, éstas se logran con edades al corte de 25 meses y 17 meses, respectivamente, mientras que en Colombia las producciones alcanzadas han llegado a 16.4 TAH, pero en cosechas a los 14.7 meses de edad.

Aunque el área sembrada con caña en Colombia es menor que la de Australia y Sudáfrica, su productividad a través del tiempo no ha disminuido, como sí ha ocurrido en estas últimas regiones (Figura 13). En Colombia, por otra parte, como consecuencia de la tendencia a disminuir la edad al corte, la relación entre el área cosechada en un año y el área total bajo cultivo se está acercando a la tradicional en Australia (80%) (Figura 14). Esto se debe a que al disminuir la edad al corte cada vez se cosecha un área mayor como proporción del área total. Lo anterior, unido a la alta productividad por hectárea por cosecha, hacen que la industria azucarera colombiana presente una alta productividad de azúcar por área total cultivada, la cual aparentemente no ha alcanzado su máximo valor, como sí ha ocurrido en Australia y Sudáfrica (Figura 15).

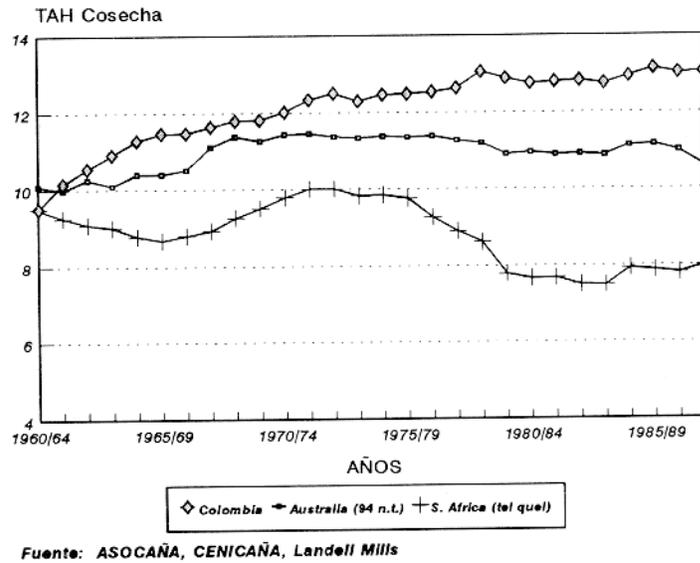


Figura 13. Recuperación de azúcar por hectárea de caña cosechada en Colombia, Australia y Sudáfrica entre 1960 y 1989.

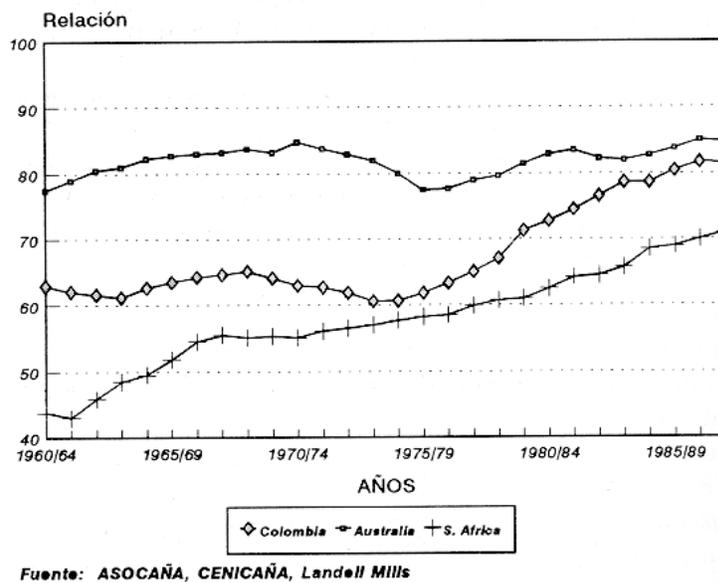


Figura 14. $(\text{Área cosechada}/\text{área cultivada}) \times 100$ con caña de azúcar en Colombia, Australia y Sudáfrica entre 1960 y 1990.

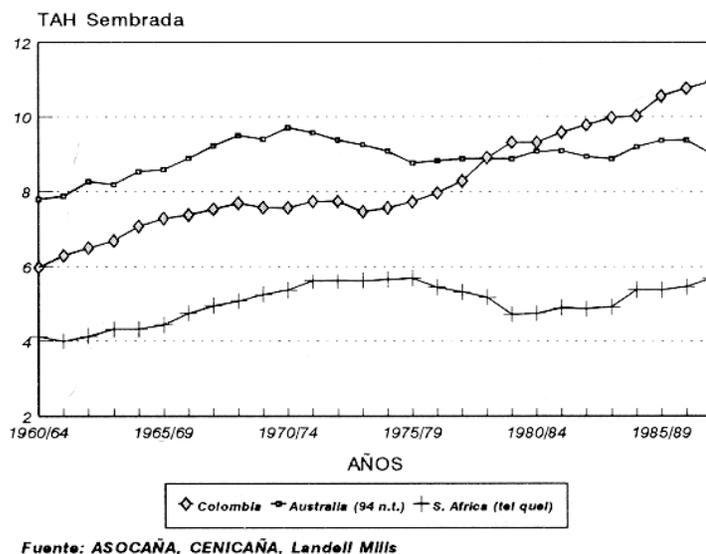


Figura 15. Azúcar recuperada por hectárea cultivada con caña en Colombia, Australia y Sudáfrica entre 1960 y 1989.

Surge, entonces, el interrogante: Por qué si la industria azucarera colombiana es tan productiva en azúcar y exporta el 40% de esta producción, tiene crisis en sus ingresos, lo que no ocurre en Australia, que tiene una industria en expansión y exporta alrededor del 80% de su producción y la vende toda a precios del mercado mundial, incluido el azúcar doméstico. La explicación a esta situación estriba en la forma cómo se produce el azúcar. Las TAH dependen del contenido de sacarosa en los tallos de la planta al momento de la cosecha que se vuelve rendimiento o sacarosa recuperada en fábrica y de las TCH. Es decir, el azúcar se puede producir mediante diferentes combinaciones de estos factores, y para reducir costos se deben dirigir los esfuerzos hacia el aumento en el contenido de sacarosa.

Sistemas de producción de azúcar en algunas regiones del mundo

El promedio de producción de azúcar en los países azucareros varía ampliamente entre las diferentes regiones e, inclusive, entre los nichos ecológicos de estas regiones. Sin embargo, los promedios generales muestran las diferencias en las tendencias de producción (Figura 16). Colombia y Australia son líderes en producción, en términos de TAH por año. Colombia debe su alta productividad relativa a una marcada ventaja en las TCH en relación con los demás países productores debido, posiblemente, a la alta fertilidad de los suelos del Valle del Cauca, a la factibilidad de riego, al desarrollo de una cultura productora de caña, y a la forma de pago que incentiva la obtención de altas TCH. Esta cultura de

cultivo utiliza altos insumos, lo cual mantienen muchas suertes lejos del óptimo económico. En el caso de Australia, la alta productividad se debe al óptimo rendimiento en azúcar comercial, que está relacionado con condiciones naturales locales, las variedades desarrolladas, la cosecha en épocas de alta concentración de sacarosa y la eficiencia de extracción en fábrica. En forma adicional, los ingenios sólo reciben caña en los meses durante los cuales la planta tiene alto contenido de sacarosa, y los agricultores han desarrollado la habilidad para producir cañaduzales «más dulces», debido a la forma de pago vigente, que premia a quienes logren concentrar más sacarosa en los tallos de la caña.

En resumen, Colombia es técnicamente eficiente en la producción de azúcar mediante la obtención de altos TCH, lo que resulta en elevados costos de producción debidos al corte, alce, transporte y molienda de la caña necesaria para producir 1 t de azúcar. A lo anterior es necesario agregar los costos por el mayor uso de agua y fertilizantes en el campo.

La industria azucarera en Australia es eficiente por sus altos rendimientos y alta extracción en fábrica. Este camino de productividad es eficiente en costos, ya que combina el uso de los insumos de más bajo costo con la aplicación adecuada de la tecnología para recuperar más sacarosa.

A lo anterior, es necesario agregar el tipo de explotación en ambas regiones. Mientras en Colombia los propietarios normalmente no se involucran en las labores de cultivo, en Australia, por el contrario, es común la explotación participativa con todos los miembros de la familia.

Diferencias en productividad entre Colombia y Australia

Colombia produce 35% más caña/ha y por año que Australia, pero está última produce 26% más sacarosa/tonelada de caña. Por otro lado, existe una diferencia de tres puntos (3%) porcentuales en el azúcar recuperado —rendimiento comercial— entre ambas regiones (Figura 16). Es necesario tener en cuenta que mientras Australia produce en su mayoría azúcar crudo, Colombia ha evolucionado hacia la producción de azúcar blanco. Lo anterior podría ser un cuestionamiento a la cuantificación exacta de la brecha, pero no a la evidente magnitud de la misma.

Los técnicos del sector han considerado que mientras en el valle geográfico del río Cauca no existan variedades tan azucareras como las que poseen los australianos, no es posible obtener los rendimientos que éstos alcanzan para cerrar, así, la brecha existente entre ambas regiones. Es decir, no existe una variedad que llene todas las expectativas y solucione los problemas creados por la baja eficiencia en producción de azúcar en Colombia y de paso, transforme esta agroindustria en competitiva a nivel internacional.

La pregunta es, si estas expectativas son válidas o si se está sobredimensionando lo que realmente puede hacer una variedad sola por la productividad del sector. La tecnología disponible actualmente tiende hacia el manejo generalizado de los campos, sin recomendaciones específicas ni prácticas agronómicas específicas para cada localidad del valle geográfico del río Cauca; un

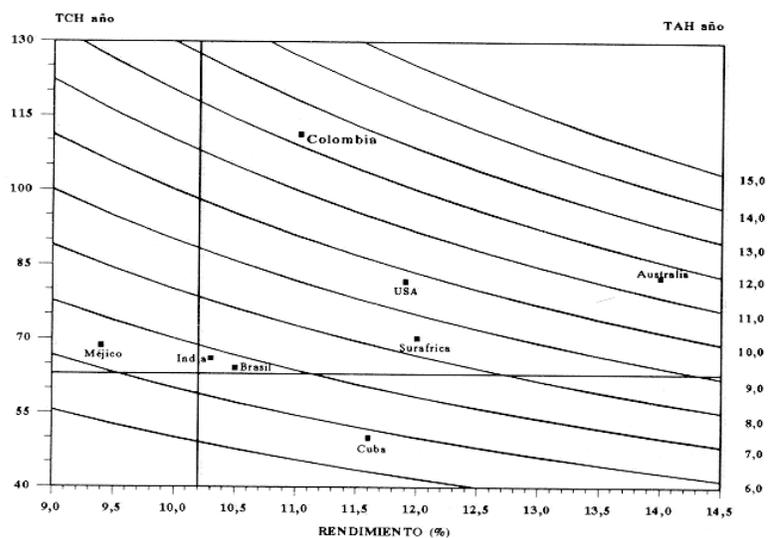


Figura 16. Curvas de isoproductividad de las TCH y TAH por año en varios países productores de azúcar, durante 1993.

manejo de las quemas y un sistema de cosecha que no favorecen la frescura de la caña al momento de la molienda; y una tendencia en las fábricas a perpetuar lo que tradicionalmente se ha venido haciendo. Por lo anterior, es posible observar que las variedades tienen promedios de rendimiento similares durante años normales y que únicamente en 1992, un año con clima atípico, los rendimientos aumentaron en todas las variedades (Figura 17).

La variedad comercial más azucarera es la MZC 74-275, que presenta 0.5 puntos porcentuales más de rendimiento en relación con las variedades comerciales V 71-51 y PR 61-632. Aunque se obtuviera una nueva variedad que superara a la primera en concentración de azúcar por un margen igual de 0.5 puntos porcentuales adicionales, todavía los rendimientos estarían lejos de los alcanzados en Australia, por lo tanto, mientras no se modifiquen las tecnologías y las políticas administrativas de manejo utilizadas hasta ahora, la solución no está solamente en el desarrollo de variedades.

Camino de productividad de la industria azucarera colombiana

Antes de discutir las formas posibles para igualar los rendimientos de azúcar alcanzados en Australia, es conveniente observar el camino productivo seguido por la industria azucarera colombiana. Entre 1965 y 1993, los aumentos en productividad se debieron a los incrementos en TCH, sin mayores avances en la cantidad de azúcar recuperada por tonelada de caña molida (Figura 18). Surge entonces la duda sobre si sería conveniente o no continuar con este sendero evolutivo, aumentando las TAH por la vía de subir las TCH; o sería mejor

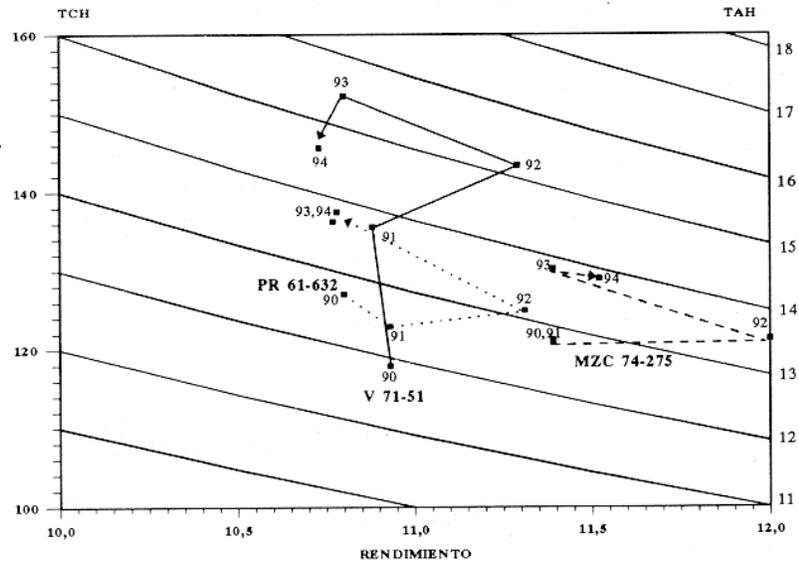


Figura 17. Sendero evolutivo de la productividad de algunas variedades de caña cultivadas en el valle geográfico del río Cauca entre 1990 y 1994

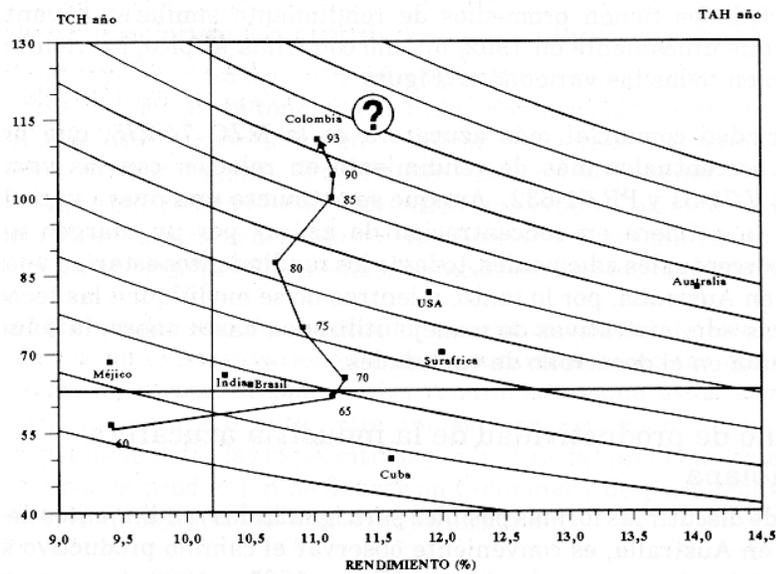


Figura 18. Camino de productividad de la industria azucarera colombiana y su situación en relación con la de otras regiones productoras.

considerar un sendero alternativo de la expansión de la productividad hacia un escenario de mayor eficiencia en costos por la vía de mayor recuperación de azúcar.

Un análisis comparativo muestra que si se mantiene el mismo ritmo de crecimiento de la producción anual de los últimos 13 años en 2.8%, manteniendo el área cultivada constante y aumentando la productividad de azúcar por hectárea, o sea, aumentando sólo las TCH para lograr este crecimiento, los beneficios de la industria serían del orden de 2300 millones de pesos colombianos de 1993. Pero si se supone un escenario diferente, en donde los aumentos en productividad de azúcar se alcancen por la vía de los rendimientos, los beneficios serían 2.1 veces mayores a los anteriores (4830 millones de pesos colombianos de 1993).

Propuestas para Aumentar los Rendimientos

A continuación se presentan algunas tecnologías que ayudan a obtener mayores rendimientos en la industria azucarera.

Reducción del tiempo entre el corte y la molienda de la caña

Desde 1993, CENICAÑA con la colaboración de varios ingenios, han venido evaluando las pérdidas de sacarosa que ocurren en la caña en el tiempo transcurrido entre la quema, el corte y la molienda. Este trabajo se propuso como herramienta para evaluar decisiones de inversión, y en él se tuvo en cuenta que la pérdida de sacarosa que primero ocurre en el tiempo es aquella por la que primero se debe comenzar, y que la magnitud del deterioro determina la importancia y rentabilidad de evitarlo, para lo cual es necesario conocer y desagregar las pérdidas que ocurren antes de la molienda. En 1994, después de varios trabajos, se encontró que al reducir el promedio del tiempo de permanencia de caña entera y quemada de 70 a 20 ó 25 horas, las pérdidas en sacarosa se reducían entre 10% y 15%. Esto indica que las medidas tendientes a reducir este tiempo antes de molienda son altamente rentables y que tiempos prolongados de permanencia pueden enmascarar los beneficios que sobre los rendimientos tienen ciertas prácticas de manejo del cultivo. Todo parece indicar que los tiempos de permanencia de la caña en el campo y en los patios de fábrica han colocado un «techo» a los rendimientos de la agroindustria azucarera y que en su manejo adecuado hay una gran oportunidad para aumentar la productividad.

El corte manual es un factor determinante del mayor tiempo de permanencia de la caña en el campo; este sistema necesita de avances de caña cortada (aprontes) que permanecen en el campo perdiendo sacarosa. Otro factor es la quema, la cual puede aumentar entre 12 y 24 horas la permanencia de la caña antes de la molienda.

En consecuencia, el manejo del tiempo de permanencia se visualiza como la mejor opción para acercarse a los rendimientos alcanzados en Australia, en donde aquél es menor de 16 horas. Además, el corte mecanizado que se presenta como

una alternativa al corte manual, permite reducir el tiempo de permanencia, ya que no requiere de tanto apronte de caña.

Equilibrio entre el tiempo de permanencia y el contenido de materia extraña

Además del tiempo de permanencia, el contenido de materia extraña (ME) es otro de los factores que afecta la recuperación de azúcar en fábrica. Del correcto balance entre la frescura de la caña y la presencia de ME dependerá la calidad del producto; por lo tanto, a la hora de tomar la decisión sobre qué equipo de cosecha comprar, se debe tener en cuenta el balance entre toneladas de caña cosechadas por hora y la cantidad de ME. Además del equipo para la cosecha, la adecuación de los campos, la edad al corte y la selección de variedades con alto deshoje y altura homogénea de tallos son condiciones necesarias para reducir la presencia de ME.

La cantidad de ME y la proporción de sus componentes afectan la calidad de la caña y los procesos en fábrica. La cosecha manual y el alce mecanizado necesitan de la quema para reducir la cantidad de hojas (2.8%), que con los cogollos (2.0%) y el suelo (1.7%) han sido los principales elementos que se presentan en la ME (Luna et al., 1990). El Ingenio A (Figura 19) es un buen ejemplo de cómo el manejo adecuado de los tiempos de permanencia y de la ME contribuyen a la obtención de niveles adecuados de azúcar recuperada por tonelada de caña cosechada. El grupo que trabaja en calidad de la producción en este ingenio logró reducir de 13.3% a 5.5% la cantidad de ME y mantenerla en este nivel, a pesar de los incrementos en la edad al corte. Esto ha sido posible por medio del estímulo a los corteros y, también, como resultado de la reducción a menos de 48 horas del tiempo de permanencia.

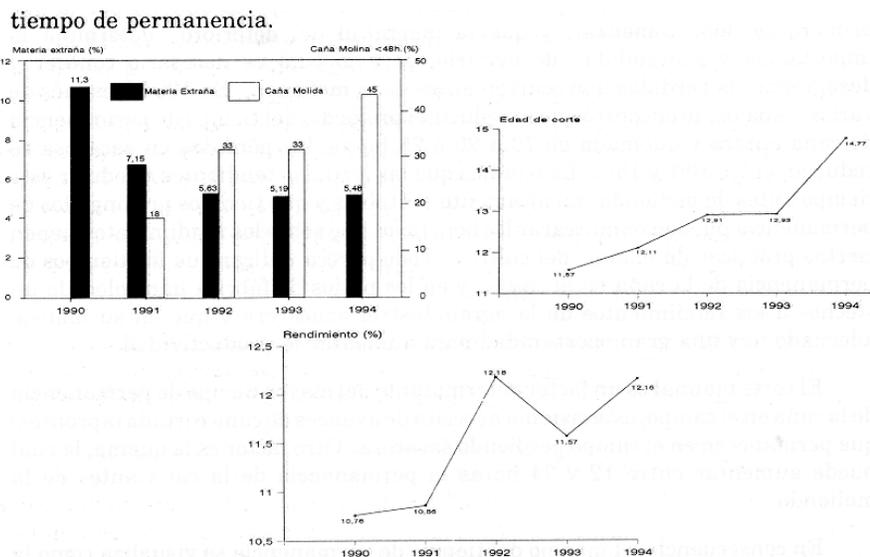


Figura 19. Efecto del porcentaje de materia extraña, tiempo de permanencia y edad al corte sobre el rendimiento de la caña de azúcar. Ingenio A, valle geográfico del río Cauca.

En este mismo ingenio, las prácticas de cultivo se han dirigido hacia una mayor concentración de azúcar: se regula la cantidad de N aplicada; se riega con base en el balance hídrico y se hace en surcos alternos; se suspenden oportunamente los riegos al final del cultivo; se ha mantenido controlada la edad al corte; y se ha intensificado la aplicación de madurantes en un área mayor, mediante la aplicación de esta tecnología en campos de cultivadores independientes. En forma paralela a estas prácticas, el ingenio ha mantenido como variedades principales la CP 57-603 y actualmente la MZC 74-275; pero los altos rendimientos alcanzados no se basan exclusivamente en la concentración de variedades, sino también en la diversidad de éstas; así, en 1991, el 85% del área estaba sembrada con la última de las variedades antes mencionadas y en 1994 este porcentaje se redujo a 77%. Lo anterior demuestra que las variedades con alto contenido de sacarosa, bien ubicadas y manejadas adecuadamente, son fundamentales para progresar a largo plazo. Además de que existen otras prácticas que se pueden implementar y que tienen el potencial suficiente para aumentar el azúcar recuperado y las ganancias en un corto tiempo, lógicamente esto requiere de algunas inversiones rentables en equipos para cosecha y en el análisis de información.

En este último caso, los ingenios han dirigido su capacidad de análisis de información hacia los aspectos contables y financieros, relegando a un segundo plano la información de producción en campo, fábrica y cosecha. Se debería, en este momento, desarrollar una mayor capacidad analítica en sistemas de modelamiento y simulación que respondan a los interrogantes de producción de la dirección de los ingenios.

Aplicación de madurantes

En el valle geográfico del río Cauca, el cultivo y la cosecha de la caña son procesos continuos a través del año. Esto implica que no existe un período de maduración uniforme y, en consecuencia, zafra o cosecha estacional. La aplicación de madurantes es un recurso adoptado por la industria azucarera colombiana para regular la maduración de la caña; no obstante, los resultados de su aplicación han sido variables entre ingenios, variedades y formas de aplicación. Cuando su uso se ha masificado o se ha extendido en gran escala, se ha encontrado que los bajos costos de aplicación comparados con los benéficos, no deben ser los únicos determinantes de la escala de aplicación; es necesario ser selectivos para alcanzar los mayores retornos económicos.

Entre 1983 y 1994, se recuperaron 191,500 toneladas de azúcar como beneficio por la aplicación de madurantes. Pero estos resultados fueron diferentes entre ingenios, y sólo dos de ellos capturaron el 48% de los beneficios totales.

Ubicación de variedades

La agroindustria azucarera de Colombia no dispone de modelos que permitan la ubicación de variedades en el campo, lo que dificulta la toma de algunas decisiones administrativas. Por ejemplo, la variedad MZC 74-275 es la más sembrada —en 40% del área— la que concentra más azúcar por tonelada de caña (11.5%), es muy exigente en prácticas de manejo especialmente en riego y

fertilización y se ha cultivado durante más de 13 años en la región. No obstante, la alta experiencia acumulada, aún existen problemas para su ubicación; los eventos de producción en 16,802 cosechas en «suertes» de esta variedad muestran que el 43% de ellas presentaron buenas producciones con adecuadas combinaciones de tonelaje y rendimiento (Cuadro 2), pero también se observa que en el 28.6% de los eventos ocurrieron con combinaciones de bajos TCH y/o bajos rendimientos, lo que indica que la variedad ha estado mal ubicada con respecto a las condiciones agroclimáticas, que ha sido mal manejada, o cosechada en épocas poco favorables.

La ubicación correcta de una variedad es el inicio del éxito productivo, ya que los errores en este sentido son costosos, difíciles de corregir y representan una pérdida grande del potencial de la variedad. Debido a que todos los lotes no tienen el mismo potencial productivos es necesario utilizar sistemas como el de información geográfica, que permiten integrar información dispersa y desplegar ubicaciones espaciales de resultados del análisis de datos de producción, con base en la caracterización de ambientes y en la respuesta diferencial de las variedades.

Cuadro 2. Distribución de eventos de producción de la variedad de caña MZC 74-275 entre 1990 y 1993. Valle geográfico del río Cauca, Colombia.

Grupos de TCH	Grupos de rendimiento				
	7.0-10.16	10.16-10.91	10.91-11.51	11.51-12.22	> 12.22
< 97.94	2.73	3.18	3.05	3.65	4.27
97.94-113.9	2.75	3.29	3.59	4.32	5.33
113.90-128.6	2.92	3.74	4.08	4.84	6.27
128.60-147.0	2.87	4.13	4.97	5.42	5.92
128.60-147.0	3.10	3.85	3.87	3.67	4.08

Manejo hacia la producción de azúcar

El pago de la caña por su peso es una de las grandes ineficiencias del sector. Este sistema ha llevado a la división del gremio en bandos con diferentes objetivos, hasta cierto punto, opuestos. La producción de altos tonelajes de caña con frecuencia se asocia con el volcamiento de los cultivos y con bajos rendimientos para cañas que cronológicamente deberían estar maduras. El ordenamiento de las TAH de 45,300 registros, recolectados entre 1990 y 1993 en la industria azucarera colombiana, se dividieron en quintiles —porciones de archivo que contienen 20% de la información— y se relacionaron con los promedios de TCH y rendimiento en cada grupo, lo cual permitió identificar los quintiles de acuerdo con su productividad (Figura 20). El análisis de esta información indica que es posible aumentar los rendimientos con tonelajes altos de caña y que no es necesario reducir las TCH para producir más sacarosa por tonelada de caña y más sacarosa total por hectárea. En un escenario de voluntad de pago por calidad de la caña, aparece como un problema matemático sencillo el definir la forma como se dividiría el azúcar entre el productor y el ingenio para estimular la producción de caña con mayor sacarosa por tallo.

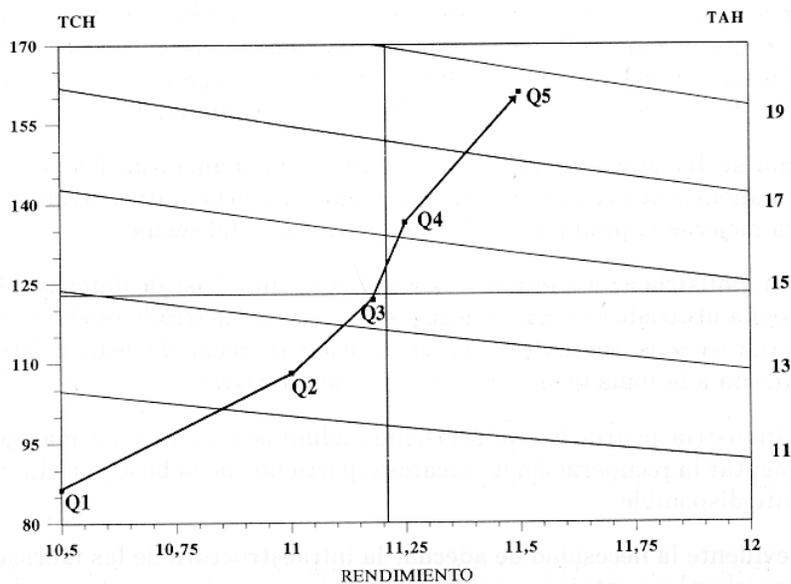


Figura 20. Producción de TCH y TAH de varios grupos productivos de azúcar (quintiles) en el valle geográfico del río Cauca.

Manejo del cultivo

El valle geográfico del río Cauca es una región heterogénea, como lo muestra el hecho de que en él ha sido posible obtener más de 9,000 cosechas con un promedio de 18.6 TAH (Q5) y un número igual con 9.1 TAH (Q1) (Figura 20). Esta alta variabilidad es el resultado de las diversas condiciones edáficas y climáticas de la región y de las políticas administrativas de la agroindustria. No obstante esta condición, el manejo de las «suertes» es similar, lo cual se traduce en una subutilización de recursos en unos casos, y en otros, en una sobreutilización.

Otro factor que conduce a la ineficiencia es el estímulo de los administradores de campo con base en las toneladas de caña producidas, lo cual ha llevado a la selección de prácticas de manejo inadecuadas y de variedades de alto tonelaje. Aunque en este campo se han introducido algunos cambios, la tendencia es hacia la obtención de altas TCHM.

Conclusiones

- (1) En Colombia, la productividad de la caña, medida como toneladas de azúcar/cosecha y por año, es alta. Pero los aumentos en productividad han sido el resultado de la mayor producción de caña por hectárea, lo cual significa un escenario productivo de altos costos, que limita la competitividad del sector azucarero colombiano.

- (2) El manejo de la edad al corte de la caña es fundamental para la rentabilidad del negocio azucarero; por lo tanto, se deben buscar mecanismos que permitan controlar esta variable y conocer de las repercusiones que tiene el hecho de que las edades al corte aumenten o disminuyan.
- (3) Como se ha demostrado en este capítulo, el manejo de los tiempos de permanencia de la caña cosechada en el campo y en los patios es fundamental para mejorar la productividad y competitividad del sector.
- (4) En la industria azucarera de Colombia existe una base de datos amplia que no se ha utilizado en forma eficaz para guiar su desarrollo productivo hacia escenarios más rentables. La utilización correcta de esta información ayudaría a la toma de decisiones con bases objetivas.
- (5) La industria podría tomar decisiones administrativas y de manejo para aumentar la recuperación de sacarosa, partiendo de la base varietal actualmente disponible.
- (6) Es evidente la necesidad de adecuar la infraestructura de las fábricas para aprovechar las ventajas que se deriven de las inversiones en las unidades de cosecha y que van a suministrar caña de mejor calidad.

Referencias

- CENICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). 1994. Informe Anual 1993. p. 54-65.
- Egan, B. s. f. How does the Australian sugar industry compare with other important cane producers. p. 49-56.
- Luna Carlos A.; Luna César, A.; y Palma, A. E. 1990. Materia extraña que llega con la caña al patio de fábrica: Su cuantificación y medición del costo asociado. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA). 11 p. (Manuscrito.)