

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.

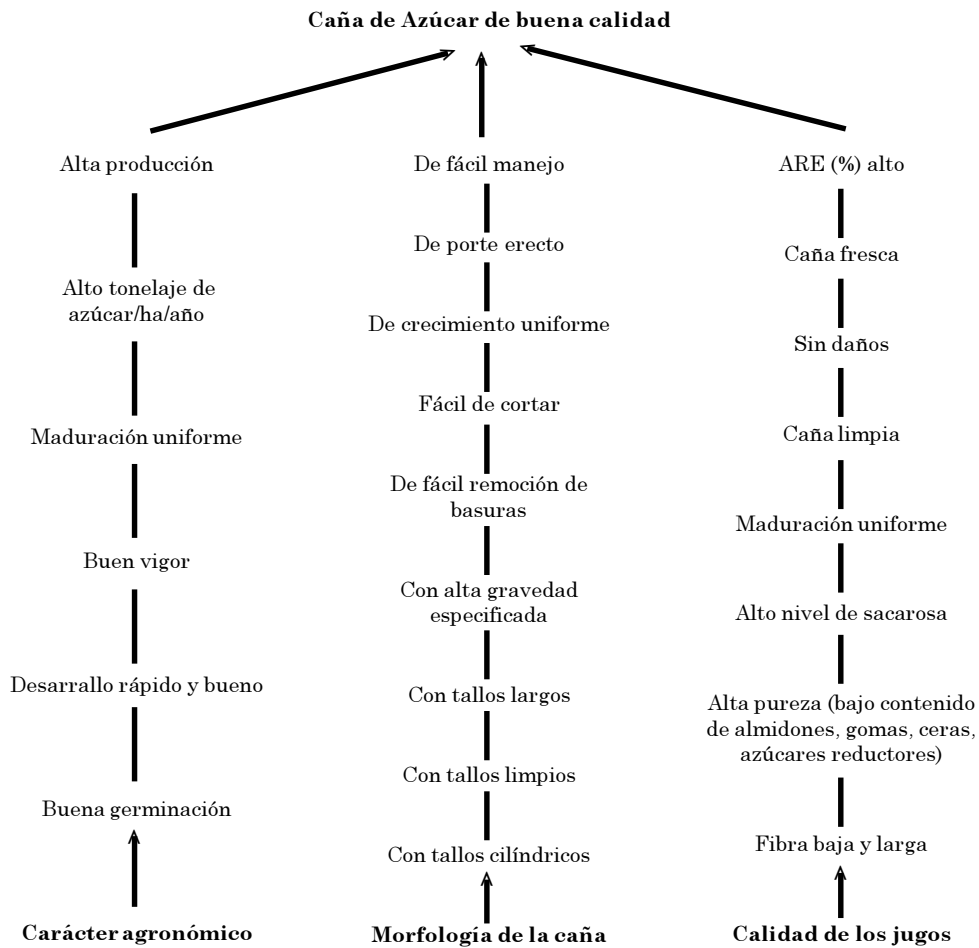


Figura 1. Características de calidad de la caña de azúcar.

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

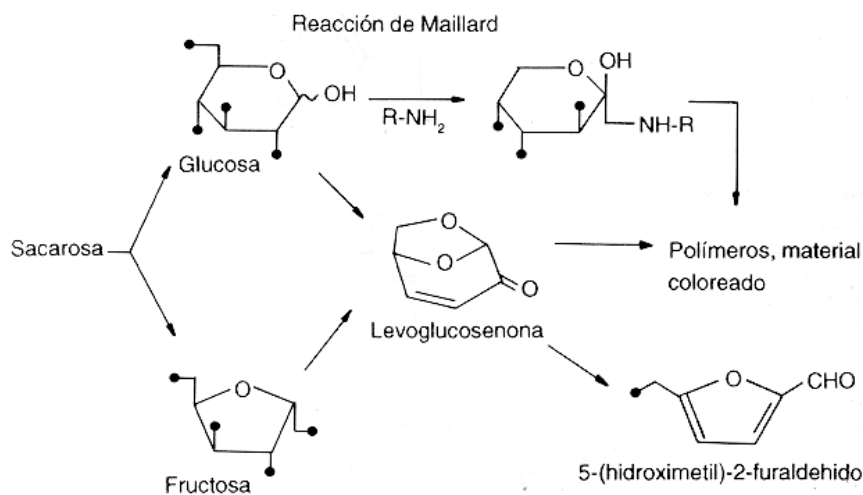


Figura 2. Posibles vías de la termólisis de la sacarosa y formación de melanoïdinas durante el procesamiento de la caña de azúcar.

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

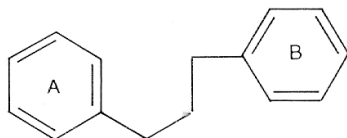


Figura 3. Anillos aromáticos de carácter fenólico comunes a los flavonoides de la caña de azúcar.

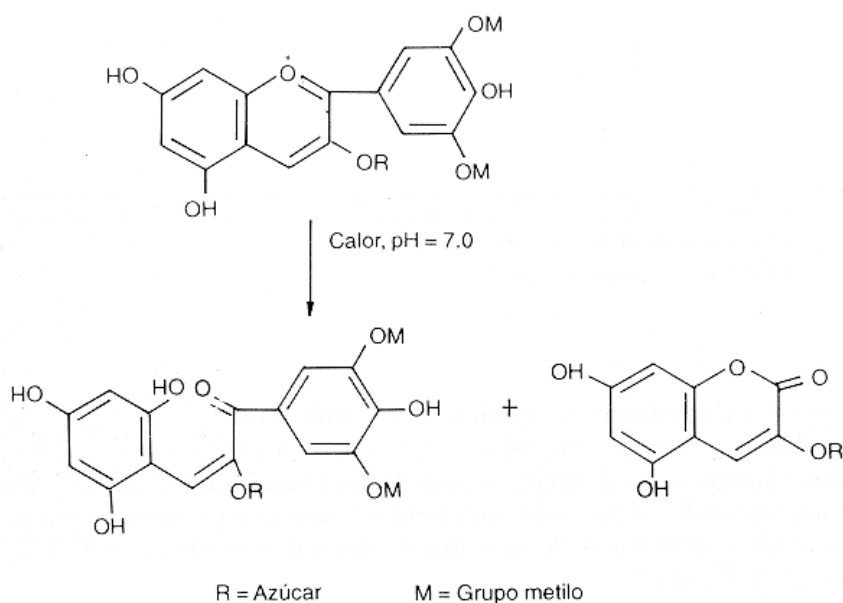


Figura 4. Descomposición térmica de las antocianinas presentes en la caña de azúcar.

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 encalamiento 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 encalamiento 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

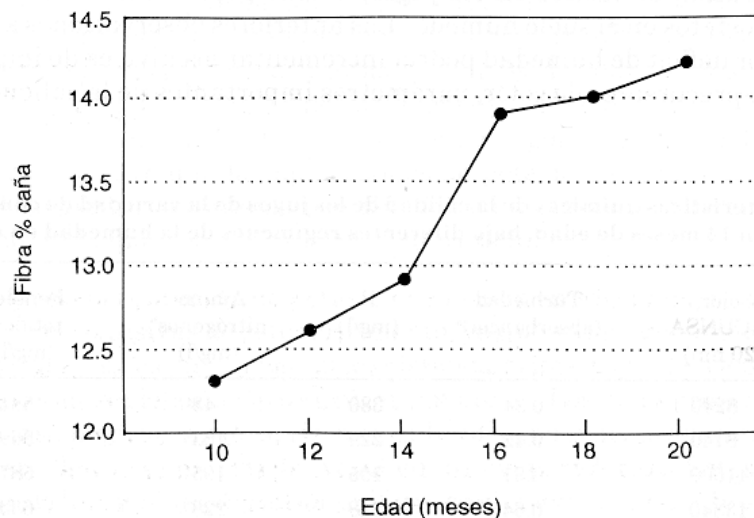


Figura 5. Promedio de variación del porcentaje de fibra con la edad al corte de seis variedades de caña de azúcar.

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.

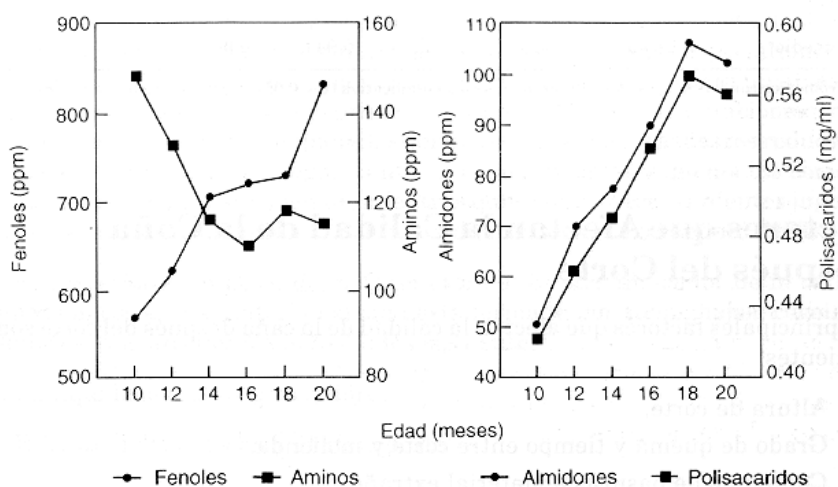


Figura 6. Promedio de las variaciones con la edad de la planta en los contenidos de almidones, polisacáridos solubles, fenoles totales y amino-nitrógenos en los jugos de seis variedades de caña de azúcar.

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.

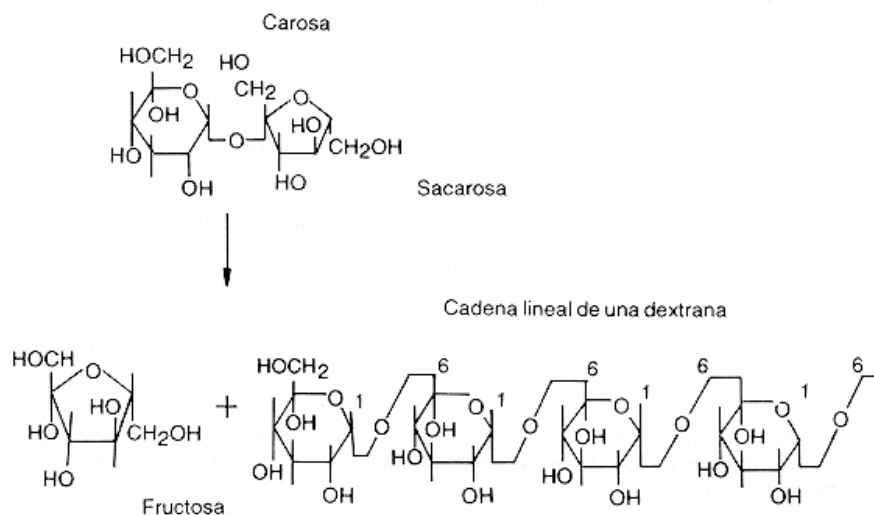


Figura 7. Síntesis general de dextranas a partir de sacarosa.

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.



Referencia bibliográfica

LARRAHONDO, J.E. Calidad de la caña de azúcar. En: CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA, 1995. p.337-354.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA
DE AZÚCAR DE COLOMBIA - CENICAÑA

Estación Experimental: vía Cali-Florida, km 26

Tel: (57) (2) 6648025 - Fax: (57) (2) 6641936

Dirección postal: Calle 58 norte no. 3BN-110

Cali, Valle del Cauca-Colombia

www.cenicana.org

buzon@cenicana.org