

Influencia de compuestos azúcares y no azúcares en la calidad industrial de caña de azúcar en Tucumán, R. Argentina: caña verde y quemada (Parte 2)

B. Silvia Zossi*, Gerónimo J. Cárdenas**, Natalia Sorol* y Marcos Sastre*

RESUMEN

A partir de 1997 en Tucumán, R. Argentina, entre el 65% y el 85% de la caña destinada a la producción de azúcar se cosecha en verde o quemada, mediante el sistema de cosecha integral. El resto del cultivo se cosecha en forma semimecánica, con un predominio del uso de la quema, del corte manual y carguío mecánico. La quema de caña, antes o después de ser cosechada, se realiza para remover las hojas adheridas a sus tallos, minimizando así el ingreso de no azúcares a la fábrica. Desde el año 2005, debido a disposiciones legislativas, la cosecha de caña en verde fue aumentando gradualmente, lo que incrementó considerablemente la concentración de compuestos no azúcares en el proceso de elaboración de azúcar. Por ello se decidió evaluar los principales componentes azúcares y no azúcares, especialmente los formadores de color, y su influencia en el proceso fabril de las cuatro variedades comerciales más difundidas en la provincia: TUCCP 77-42, LCP 85-384, CP 65-357 y RA 87-3, cosechadas de tres maneras diferentes: tallo molible limpio, despuntado y sin hojas; caña quemada para eliminar las hojas y despuntada y caña cosechada en verde, con un 15% de "trash" (hojas y despunte) aproximadamente. En este trabajo se presentan los datos obtenidos con cosecha en verde y quemada. Los resultados mostraron que la variedad LCP 85-384 es la que presentó el mejor comportamiento para la producción de azúcar, por su mayor contenido de este sacárido y menores tenores de fibra y compuestos no azúcares, independientemente del tipo de cosecha. En las cuatro variedades estudiadas, disminuyeron la extracción de jugo y la cantidad de azúcar recuperable en fábrica y se incrementaron los contenidos de compuestos no azúcares, principalmente almidón y cenizas, cuando se trabajó con caña cosechada en verde.

Palabras clave: variedades de caña, composición del jugo de caña de azúcar, azúcar blanco directo, caña verde, caña quemada.

ABSTRACT

Effect of sugar and non sugar compounds on sugar cane industrial quality in Tucumán (Argentina)

Since 1997 in Tucumán, Argentina, between 65% and 85% of cane for sugar production has been harvested mechanically, either green or burnt. The rest is harvested in a semi-mechanical way, mostly by burning cane, cutting it manually and using a loading device. Cane is burnt before or after harvest to remove leaves attached to stems, thereby minimizing the presence of non-sugars during industrial processing. Due to legislative actions since 2005, green cane harvesting has been gradually implemented. This harvesting practice ultimately led to a significant increase in non-sugar content in processed cane. This paper studies the influence of the main sugar and non-sugar components on juice composition that affect the manufacturing process, especially focusing on those compounds promoting colour. The study was conducted on cane from the four most widely used commercial varieties in the province: TUCCP 77-42, LCP 85-384, CP 65-357 and RA 87-3. Cane samples derived from three different harvesting practices: topped stalks without leaves, burnt cane without leaves and tops, and green harvested cane with approximately 15% of trash (leaves and tops). Results showed that regardless of the type of harvest, LCP 85-384 yielded the highest sugar levels because of its highest sucrose content and lowest levels of fibre and non sugar compounds. In the four varieties studied juice extraction and total recoverable sugar decreased, while non sugar compounds, mainly starch and ash, increased when green cane harvested was processed.

Key words: sugarcane varieties, sugarcane juice composition, white direct sugar, green cane, burnt cane.

*Sección Química de Productos Agroindustriales, EEAOC. silviazossi@eeaoc.org.ar

**Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales, EEAOC.

INTRODUCCIÓN

En un trabajo anterior (Zossi *et al.*, 2010), se estudió la influencia de compuestos azúcares y no azúcares en la calidad del jugo de caña de las cuatro variedades comerciales más difundidas en Tucumán, R. Argentina, y las ventajas y desventajas que podría presentar cada uno de ellos en el proceso de elaboración de azúcar blanco directo. Se trabajó con caña limpia y despuntada, y aunque este tipo de cosecha no es la modalidad actual en la actividad, la metodología fue útil para encontrar diferencias y semejanzas entre las variedades estudiadas.

La realidad de Tucumán es que desde el año 1997, entre el 65% y el 85% de la caña disponible se cosecha en verde o quemada, mediante el sistema de cosecha integral. El resto corresponde a cosecha semimecánica, con un predominio de corte manual, carguío mecánico y uso de la quema (Romero *et al.*, 2009b).

Quemar la caña antes o después de cosecharla es una manera muy eficiente de remover las hojas adheridas a sus tallos, minimizando de esta manera el ingreso de no azúcares a la fábrica. Si la caña puede ser cortada y molienda dentro de las dieciséis horas de quemada, los costos de molienda y azúcar recuperable no se comprometen seriamente, pero si la demora es mayor, comienza inmediatamente el deterioro, ya que se destruyen los procesos metabólicos que regulan la producción de sacarosa, transformándose esta en alcohol y dextranos principalmente por el ingreso de levaduras y bacterias, respectivamente, a través del tallo dañado (Davies, 1998). Además cuando se quema caña, el jugo en su interior puede alcanzar una temperatura de 80°C a 90°C, causando la destrucción de algunos azúcares y promoviendo cambios químicos que facilitan la degradación de la sacarosa.

En el mundo y en la Argentina, se está produciendo el cambio de procesar caña en verde en lugar de caña quemada, buscando minimizar el impacto ambiental. En Tucumán, a partir del Decreto N° 795/3 que reglamenta la Ley N° 7459, la quema de caña solo sería admitida en casos excepcionales, debiéndose reducir en un 5% anual la superficie de cañaverales quemados (Romero *et al.*, 2009b). Actualmente, la cosecha de caña en verde ya alcanza el 80% (Romero *et al.*, 2009a).

Cuando se procesa caña en verde que contiene cantidades significativas de hojas, se incrementa la cantidad de no azúcares que ingresa a fábrica, especialmente almidón y aquellos compuestos que aportan color, aumentando también la cantidad de fibra. El contenido de sacarosa en las hojas es menor que en los tallos, mientras que la concentración de sustancias solubles no azúcares en las hojas es mayor que en los tallos (Bernhardt *et al.*, 2000).

Debido a la incidencia negativa de los compuestos no azúcares en el proceso fabril, se decidió evaluar la calidad industrial de las cuatro variedades comerciales más

difundidas en la provincia: TUCCP 77-42, LCP 85-384, CP 65-357 y RA 87-3, las cuales ocupan más del 96% de la superficie cañera de Tucumán (Cuenya *et al.*, 2009).

El objetivo de este trabajo fue determinar los principales componentes azúcares y no azúcares, especialmente los formadores de color, que inciden negativamente en el proceso de elaboración de azúcar blanco directo, a partir de las cuatro variedades de caña antes mencionadas cosechadas con dos modalidades diferentes: caña quemada para eliminar las hojas y despuntada, y caña cosechada en verde, con un 15% de "trash" (hojas y despunte) aproximadamente. Este valor corresponde a la cosechadora menos eficiente existente en la actualidad, cuando se cosecha caña caída (Romero *et al.*, 2009b).

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante los años 2004, 2005, 2006 y 2007, se estudiaron los parámetros que establecen la calidad industrial de las cuatro variedades comerciales de caña de azúcar más difundidas en Tucumán. Se trabajó con LCP 85-384, TUCCP 77-42, RA 87-3 y CP 65-357, utilizando materiales soca cultivados en el predio de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), en El Colmenar, Tucumán. Las muestras fueron tomadas cada quince días durante el período mayo – octubre, con un tiempo transcurrido entre corte y procesamiento menor a dieciséis horas.

Se trabajó con dos tipos de cosecha:

a) Caña cosechada en verde: se procesó la caña con hojas verdes y secas y despunte, con un nivel promedio de "trash" del 15%.

b) Caña quemada: para simular esta situación, tratando de reproducir las condiciones de campo, se siguió la metodología empleada años anteriores por Diez *et al.* (2002) en ensayos realizados en la EEAOC.

El jugo primario fue obtenido mediante una desfibradora a martillo con un "open cell" del 95% y posterior prensado en prensa hidráulica, siguiendo la metodología propuesta por Diez *et al.* (2000). El bagazo se mezcló con agua en una proporción de 30% por kilo de caña, se prensó nuevamente y se mezclaron ambos jugos para obtener el jugo mixto.

En 90 muestras de caña cosechada en verde y 62 de caña quemada, se analizaron los siguientes parámetros: extracción y fibra% caña y, en el jugo primario, brix% jugo, pol% jugo, pureza, pol% caña y azúcar recuperable, empleando la metodología propuesta por Diez *et al.* (2000).

Además, en los jugos mixtos obtenidos se determinaron:

- almidón, según el método propuesto por Godshall (2004) y Zossi *et al.* (2008b);
- fosfatos y cenizas conductimétricas, de acuerdo a la metodología de la International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (ICUMSA, 2005);

- color, con la técnica recomendada por COPERSUCAR (2004), análogo al método ICUMSA GS1/3-7 (ICUMSA, 2005);

- compuestos antocianos, según Godshall *et al.* (1996);

- compuestos fenólicos, de acuerdo a la metodología propuesta por Clarke *et al.* (1985);

- sílice soluble, basada en la metodología establecida por la South African Sugar Technologists' Association (SASTA, 2005);

- indicator value, de acuerdo a Smith and Gregory (1971);

- sacarosa real, por cromatografía líquida de alta performance (HPLC), empleando un detector de índice de refracción y columna Sugar Pak, de Waters;

- ácidos cis- y trans-aconítico por HPLC, de acuerdo a Zossi *et al.* (2008a);

- nitrógeno amínico, según Smith and Gregory (1971).

Las determinaciones analíticas fueron realizadas en un laboratorio certificado bajo Norma ISO 9001: 2000, cumpliendo con los lineamientos para asegurar la calidad del dato analítico.

El análisis estadístico de los datos se efectuó mediante análisis de la varianza, con un diseño totalmente al azar, usando el software Infostat. La comparación de medias se realizó con el test de Tukey a un nivel de confianza del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para las cuatro variedades analizadas se determinaron los componentes azúcares y no azúcares para cada tipo de cosecha.

En la Tabla 1 se muestran los resultados promedio obtenidos a partir de muestras quincenales de los principales parámetros de calidad de la caña y sus jugos primarios, tomadas de caña cosechada en verde durante los cuatro años analizados.

Extracción. Como se observa en la tabla anterior, existen diferencias significativas en el contenido porcen-

tual teórico del jugo de primera presión en la caña entre las cuatro variedades analizadas. La de mayor cantidad de jugo fue TUCCP 77-42, seguida por RA 87-3 y LCP 85-384, sin diferencias estadísticamente significativas entre ellas. La de menor contenido en jugo fue CP 65-357.

Brix en jugo. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el contenido de sólidos solubles del jugo entre las cuatro variedades estudiadas, para una probabilidad del 5%.

Pol en jugo y sacarosa. Estos dos parámetros están estrechamente relacionados entre sí, ya que la concentración de pol% jugo es una medida indirecta y aproximada de la cantidad de sacarosa presente en él. Para ambas medidas se encontraron las mismas diferencias significativas entre las cuatro variedades analizadas, siendo LCP 85-384 la de mayor contenido en sacarosa.

A diferencia de lo determinado en un trabajo anterior (Zossi *et al.*, 2010), los valores de sacarosa fueron en todos los casos inferiores en aproximadamente 10% a los encontrados para pol% jugo. Esto podría deberse a la concentración de azúcares reductores presentes en el jugo, mayores en caña sometida a este tipo de cosecha, y que influenciarían la lectura de pol.

Pureza%. En la relación porcentual entre pol en jugo y los sólidos solubles, se encontraron diferencias estadísticamente significativas para las cuatro variedades analizadas. La que presentó mayor valor en este parámetro fue LCP 85-384, seguida por RA 87-3. El valor de menor pureza se obtuvo con TUCCP 77-42, la variedad que presentó mayor extracción, por lo que podría decirse que cuanto mayor es la extracción, más se incrementan los no azúcares en el jugo. No ocurrió lo mismo con CP 65-357, que a pesar de tener la menor extracción, presenta así mismo pureza baja debido a su bajo tenor de azúcar y alto contenido de sólidos solubles.

Pol en caña. Su valor está fuertemente relacionado con el contenido de sacarosa en jugo y con la cantidad de fibra en caña, por lo que son lógicas las diferencias estadísticas encontradas entre las cuatro variedades estudiadas. LCP 85-384, que presentó el valor más alto, es la variedad con mayor contenido de sacarosa y baja cantidad

Tabla 1. Valores promedio de los principales parámetros de calidad en caña de azúcar y sus jugos primarios de caña obtenidos de caña cosechada en verde.

Variedades	Extracción % N = 90 CV%=5,42	Brix % N = 90 CV%=9,40	Pol jugo % N = 90 CV%=11,53	Pureza % N = 90 CV%=4,37	Sacarosa % N = 90 CV%=21,26	Pol caña % N = 90 CV%=10,07	Fibra caña % N = 90 CV%=9,57	Az. recup. % N = 90 CV%=12,68
TUCCP 77-42	64,05 a	21,00 a	17,67 ab	81,83 a	15,49 ab	12,12 ab	18,08 a	8,03 ab
RA 87-3	60,91 b	21,38 a	18,26 ab	85,27 b	16,11 ab	12,59 ab	18,79 a	8,87 bc
CP 65-357	56,77 c	21,42 a	17,21 a	82,32 a	14,87 a	11,80 a	20,56 b	7,77 a
LCP 85-384	59,82 b	21,86 a	18,88 b	86,20 b	16,77 b	12,94 b	18,28 a	9,31 c

Valores promedio seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $P=0,05$).

de fibra; lo opuesto a CP 65-357, que presentó el menor valor de pol% caña.

Fibra en caña. Entre las cuatro variedades estudiadas para este tipo de cosecha, solo se determinaron diferencias estadísticamente significativas entre CP 65-357, la de mayor contenido, y las restantes.

Azúcar recuperable. Este parámetro expresa los kilos de azúcar que se esperan recuperar en el proceso fabril por cada 100 kg de caña, y es útil para conocer en forma teórica la cantidad de azúcar que puede obtenerse en fábrica. Su valor está relacionado con el contenido de sacarosa (pol % caña), pureza y extracción, la que a su vez depende del contenido de fibra.

El valor más alto determinado correspondió a LCP 85-384, que presentó mayor valor de sacarosa y de pureza y menor cantidad de fibra, correspondiendo a CP 65-357 el menor valor de azúcar recuperable por sus contenidos de azúcar y fibra. RA 87-3 no presentó diferencias estadísticas con LCP 85-384. TUCCP 77-42, a pesar de presentar la extracción más alta y un contenido de fibra estadísticamente semejante a LCP 85-384, se ubicó en tercer lugar por su concentración de sacarosa respecto al parámetro azúcar recuperable.

De igual manera, se determinaron los mismos parámetros para estas cuatro variedades cosechadas con quema. En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos.

Extracción. Los valores promedio obtenidos para este parámetro en jugo primario, bajo este tipo de cosecha, presentaron diferencias estadísticamente significativas solo para RA 87-7 y CP 65-357 con respecto a TUCCP 77-42, variedad que presentó la mayor extracción. En todas las variedades estudiadas, los contenidos de jugo resultaron mayores que en el caso de caña cosechada en verde.

Brix en jugo. Este parámetro no presentó diferencias estadísticamente significativas en los jugos de las cuatro variedades estudiadas en los cuatro años de evaluación.

Pol en jugo, sacarosa y pol en caña. Los tres parámetros presentaron las mismas diferencias estadísti-

cas, difiriendo solamente TUCCP 77-42 con respecto a LCP 65-357 y CP 85-384. Esta última mostró la mayor concentración en todos estos parámetros.

Pureza. Solamente se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre TUCCP 77-42, la de menor valor, y las tres variedades restantes, siendo LCP 85-384 la de mayor pureza.

Fibra en caña. Existen diferencias significativas entre las cuatro variedades estudiadas, y como en los tipos de cosecha estudiados anteriormente, CP 65-357 presentó el mayor contenido de fibra y LCP 85-384 fue la variedad con niveles menores de este constituyente. Aunque la tendencia concuerda con lo determinado en años anteriores en la EEAOC (Diez *et al.*, 2000), los valores de fibra obtenidos en este trabajo son mayores, debido quizás a diferencias en las condiciones de crecimiento, clima, etc. (Rein, 2007).

Azúcar recuperable. Solamente se determinaron diferencias significativas entre TUCCP 77-42 y las restantes, siendo la variedad LCP 85-384 la que posibilitaría recuperar mayor cantidad de sacarosa en fábrica. Estos valores son superiores en más de 30% a los determinados para caña cosechada en verde.

Componentes no azúcares

Como ya se mencionara en un trabajo anterior (Zossi *et al.*, 2010), estos componentes provocan efectos negativos durante el proceso industrial y, aunque algunos de ellos no influyan sobre la cantidad de azúcar recuperable, son importantes en la calidad del azúcar blanco directo que se obtiene en el proceso fabril. En el trabajo mencionado se hizo referencia a la influencia de cada uno de estos compuestos durante el proceso de elaboración de azúcar.

No azúcares orgánicos. En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para los principales no azúcares orgánicos estudiados para las cuatro variedades consideradas cosechadas en verde, y en la Tabla 4, para las mismas variedades cosechadas empleando quema, todos ellos obtenidos en jugo mixto.

Tabla 2. Valores promedio de los principales parámetros de calidad de caña de azúcar y sus jugos primarios, obtenidos de caña quemada.

Variedades	Extracción % N = 62 CV%=4,09	Brix % N = 62 CV%=7,97	Pol jugo % N = 62 CV%=9,34	Pureza % N = 62 CV%=2,24	Sacarosa % N = 62 CV%=10,64	Pol caña % N = 62 CV%=7,38	Fibra caña % N = 62 CV%=8,47	Az. recup. % N = 62 CV%=7,99
TUCCP 77-42	70,27 b	21,91 a	18,70 a	85,68 a	18,66 a	14,33 a	15,22 ab	10,52a
RA 87-3	66,35 a	22,72 a	20,16 ab	89,68 b	20,00 ab	15,10 ab	15,98 b	11,67b
CP 65-357	67,41 a	23,48 a	20,06 b	89,13 b	20,06 b	15,70 b	16,19 b	12,25b
LCP 85-384	68,51 ab	22,93 a	20,62 b	90,21 b	20,86 b	15,73 b	14,48 a	12,51b

Valores promedio seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $P=0,05$).

Tabla 3. Concentración de almidón y ácidos cis- y trans-aconítico en jugos mixtos de caña cosechada en verde.

Variedades	Almidón mg/kg °Bx N = 90 CV% = 10,87	Ac. cis-aconítico mg/kg °Bx N = 90 CV% = 19,59	Ac. trans-aconítico mg/kg °Bx N = 90 CV% = 5,65
TUCCP 77-42	3386 c	1619 b	16278 c
RA 87-3	2807 b	1185 a	13050 b
CP 65-357	4551 d	1587 b	18508 d
LCP 85-384	2493 a	1176 a	11266 a

Valores promedio seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $P=0,05$).

Tabla 4. Concentración de almidón y ácidos cis- y trans-aconítico en jugos mixtos de caña quemada.

Variedades	Almidón mg/kg °Bx N = 62 CV% = 19,37	Ac. cis-aconítico mg/kg °Bx N = 62 CV% = 22,22	Ac. trans-aconítico mg/kg °Bx N = 62 CV% = 5,71
TUCCP 77-42	2261 b	1367 c	15396 c
RA 87-3	1894 ab	1111 b	11832 b
CP 65-357	1909 ab	1367 bc	17352 b
LCP 85-384	1775 a	830 a	10204 a

Valores promedio seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $P=0,05$).

Almidón. Se observa en las Tablas 3 y 4, diferencias estadísticamente significativas entre las cuatro variedades de caña en los dos tipos de cosecha estudiados. Como es de esperar, el contenido de este polisacárido es siempre mayor en caña cosechada en verde, ya que las concentraciones mayores de este compuesto se encuentran en el meristema apical y en las hojas. Excepto para la variedad CP 65-357, que en caña verde posee una concentración de almidón superior en 2,5 veces a la de caña quemada, en las restantes variedades esta relación es de alrededor de 1,4, siendo LCP 85-384 la variedad con menor contenido de almidón, independientemente del tipo de cosecha llevada a cabo.

Ácidos cis- y trans-aconítico. Son los ácidos orgánicos naturales presentes en mayor concentración en jugos de caña de azúcar. Son los responsables, junto a otros ácidos existentes en menor cantidad, de que el pH de los jugos esté comprendido en un rango de entre 5,3 y 5,8 (Rein, 2007). Además, podrían estar asociados a un colorante de alto peso molecular (van der Poel *et al.*, 1998).

Los resultados mostrados en las Tablas 3 y 4 indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre las cuatro variedades de caña estudiadas, para ambos tipos de cosecha. La variedad LCP 85-384 es la que menor concentración de ambos isómeros presenta, mientras que CP 65-357 es la de mayor contenido de estos ácidos.

Varios autores afirman (Hanine *et al.*, 1990; Mane *et al.*, 2002) que solo se elimina un 16% de estos ácidos durante la etapa de clarificación por sulfitación, y que el

resto se concentra en jarabe y melaza, causando incrustaciones en evaporadores y formando compuestos melasígenos complejos con azúcares que afectan la formación del azúcar cristal.

De acuerdo a Saska and Gil Zapata (2006), es común que en el jugo de caña la relación de los ácidos trans-aconítico/ cis-aconítico esté comprendida entre 7 y 10, pero para las variedades estudiadas bajo estos dos tipos de cosecha, dicha relación fue superior, variando entre 10 y 12.

No azúcares que influyen en el color

En las Tablas 5 y 6 se presentan los resultados de color, "indicator value" (IV) y algunos compuestos no azúcares que influyen en el color para las cuatro variedades de caña estudiadas cosechadas en verde y con quema, respectivamente.

Color. Como se puede ver en las Tablas 5 y 6, no se encontraron diferencias significativas entre las cuatro variedades de caña estudiadas cuando se cosecharon en verde, aunque tal vez esto sea consecuencia del alto valor de CV% del modelo (24,5%). Tampoco en el caso de caña quemada existen diferencias significativas entre las variedades, siendo el jugo de LCP 85-384 el que menor color presentó. Para todas las variedades, el color siempre fue mayor en caña cosechada en verde, procesada con un porcentaje de hojas, las cuales son responsables del incremento del color en el jugo por su contenido en compuestos flavonoides.

Tabla 5. Compuestos no azúcares que influyen en el color del jugo mixto en caña cosechada en verde.

Variedades	Color UI N = 90 CV% = 24,51	Antocianos UA N = 90 CV% = 19,10	Fenoles mg/kg °Bx N = 90 CV% = 5,65	IV N = 90 CV% = 5,65	N amínico mg/kg °Bx N = 90 CV% = 18,47
TUCCP 77-42	20938 a	32,99 ab	4583 c	3,26 c	554 b
RA 87-3	22743 a	35,88 b	4041 b	3,21 c	433 a
CP 65-357	23586 a	37,13 b	4566 c	1,62 a	650 c
LCP 85-384	18902 a	28,35 a	3664 a	2,17 b	396 a

Valores promedio seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $P=0,05$).

Tabla 6. Compuestos no azúcares que influyen en el color del jugo mixto en caña quemada.

Variedades	Color UI N = 62 CV% = 12,48	Antocianos UA N = 62 CV% = 20,40	Fenoles mg/kg °Bx N = 62 CV% = 12,19	IV N = 62 CV% = 12,63	N amínico mg/kg °Bx N = 62 CV% = 12,57
TUCCP 77-42	19103 a	25,56 ab	3782 b	5,01 c	723 c
RA 87-3	19935 a	31,03 bc	3160 a	5,19 c	539 b
CP 65-357	19769 a	32,50 c	3189 a	3,00 a	606 b
LCP 85-384	17796 a	21,91 a	2916 a	3,64 b	332 a

Valores promedio seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $P=0,05$).

Según Bucheli and Robinson (1994), si se calienta la caña a 80°C o 90°C antes de molerla, se puede conseguir una reducción del color del jugo de un 47% en promedio, debido a la inhibición de la actividad enzimática.

Según Olson and Pope (2004) el color del jugo de caña es determinante en el color del azúcar resultante; de ahí la importancia de esta medición en las variedades comerciales estudiadas.

Antocianos. De acuerdo a los resultados obtenidos, expresados como unidades de absorbancia en las Tablas 5 y 6, existen diferencias estadísticamente significativas entre las cuatro variedades estudiadas. Para ambos tipos de cosecha la variedad con menor contenido de compuestos antocianos fue LCP 85-384, seguida por TUCCP 77-42; entre ambas no se determinaron diferencias significativas. La de mayor contenido de estos compuestos para ambos tipos de cosechas fue CP 65-357, sin diferencias estadísticas con RA 87-3. Como era previsible, la concentración de este compuesto siempre fue mayor para la caña cosechada en verde.

Los antocianos son un tipo de compuestos fenólicos, intensamente coloreados y responsables del color de la corteza de algunas variedades de caña. Se descomponen con el calor y no sobreviven al proceso de clarificación (Paton, 1992). Son responsables de las pigmentaciones roja, violeta y azul en las plantas (Smith and Hall, 1971) y su color se torna oscuro cuando el pH disminuye, pero se descomponen fácilmente a pH 7,0 durante la clarificación y el calentamiento, originándose un glicósido de cumarina incoloro (Larrahondo, 1995).

Compuestos fenólicos. Como puede observarse en las Tablas 5 y 6, donde la concentración de compuestos fenólicos está expresada en miligramos de ácido cafeico por kilo de jugo y °Brix, la variedad LCP 85-384 presentó menor concentración de estos constituyentes para ambos tipos de cosecha; TUCCP 77-42 fue la de mayor contenido. En cosecha en verde, estos contenidos en esta última variedad no difieren con respecto a CP 65-357, pero sí con respecto a RA 87-3.

En caña quemada, solo existen diferencias estadísticamente significativas entre TUCCP 77-42 y las restantes variedades. Los valores determinados son concordantes con resultados obtenidos con diferentes variedades comerciales de caña de azúcar en India (Rupa and Asokan, 2008) y Sudáfrica (Lionnet, 1986).

En el jugo de caña de azúcar, los compuestos fenólicos se encuentran usualmente como derivados del ácido cinámico, siendo el más común el ácido clorogénico. Tienen estructuras de ésteres cuando están unidos a un alcohol, o de glicósido cuando el ácido está ligado a una unidad de azúcar, tal como glucosa (Paton, 1992). De acuerdo a Clarke *et al.* (1986), este tipo de compuestos proveen información sobre los colorantes que provienen de la planta de caña y pueden reaccionar enzimáticamente o no, tanto con grupos amino o aldehídos, durante el proceso de elaboración de azúcar, para formar compuestos de mayor peso molecular, pudiendo contribuir a su color. De acuerdo a Davis (2001), estos compuestos, junto con los flavonoides, son responsables de las dos terceras partes del color en el azúcar crudo, por lo que si se desea

tener una idea de la calidad del azúcar a obtener, es importante su cuantificación.

Indicator value (IV). En la medición del color del jugo de caña y productos azucarados, la absorbancia está afectada por el pH, debido a que algunos colorantes son más sensibles que otros a sus variaciones por diferencias existentes en sus moléculas. Esta propiedad que es usada para diferenciar colorantes de distintos tipos, se denomina “indicator value” y es la relación entre el color determinado a pH 9 y a pH 4.

En los resultados presentados en las Tablas 5 y 6, se observan diferencias estadísticamente significativas entre las cuatro variedades de caña comerciales estudiadas, siendo el IV siempre menor en caña cosechada en verde. Esto sería consecuencia de la composición de los compuestos flavonoides, especialmente las antocianinas (Smith and Gregory, 1971). En caña quemada, el IV siempre fue más alto, lo que podría deberse a la oxidación de algunos fenoles por efecto de la temperatura, aumentando la concentración de flavonoides y ácido clorogénico, principales responsables del color a pH 9 (Paton, 1992). En ambos tipos de cosecha, CP 65-357 presentó menor valor de IV.

Nitrógeno amínico. Esta determinación indica el nivel de grupos amino (usualmente aminoácidos) presentes en los colorantes. A pesar de ser una prueba para grupos amino primarios, y en los colorantes existen también grupos amino secundarios y terciarios, responde a la proporción de amina reactiva en el colorante, mostrando su potencial para formar colorantes no cargados, de alto peso

molecular y difíciles de remover. También indicaría el nivel de productos debido a la reacción de Maillard en el azúcar (Clarke *et al.*, 1985, Clarke *et al.*, 1986).

Como se indica en la Tabla 5, para caña cosechada en verde existen diferencias estadísticamente significativas para este parámetro entre las cuatro variedades de caña comerciales analizadas, siendo LCP 85-384 la que presentó menor concentración y CP 65-357 la de mayor contenido de compuestos con estos grupos. RA 87-3 no presentó diferencias significativas con LCP 85-384. Para caña quemada (Tabla 6), también se determinaron diferencias significativas entre las cuatro variedades analizadas, y nuevamente LCP 85-384 fue la de menor contenido de compuestos con grupos amino.

Compuestos no azúcares inorgánicos. En las Tablas 7 y 8 se presentan los resultados de la determinación de no azúcares inorgánicos en los jugos mixtos de las variedades estudiadas, cosechadas en verde y con quema, respectivamente.

Cenizas. Su valor indica la concentración de constituyentes inorgánicos en la muestra y fue estimada indirectamente, midiendo conductividad en la solución. Según Rein (2007), el valor de cenizas es un factor importante para la selección de variedades, especialmente en aquellas zonas donde su contenido tiende a ser muy elevado.

Como se observa en ambas tablas, existen diferencias estadísticamente significativas para cenizas en ambos tipos de cosecha. En caña quemada, estos valores fueron entre 15% y 38% menores que en caña cosechada en verde, lo que es esperable dado el nivel de “trash” que pre-

Tabla 7. Compuestos no azúcares inorgánicos en jugos mixtos de caña cosechada en verde.

Variedades	Cenizas g/100g °Bx N = 90 CV% = 17,05	P ₂ O ₅ mg/kg °Bx N = 90 CV% = 16,42	SiO ₂ mg/kg °Bx N = 90 CV% = 8,90
TUC 77-42	5,47 c	2109 b	3140 b
RA 87-3	4,48 b	1690 a	3136 b
CP 65-357	4,75 b	1763 a	3321 b
LCP 85-384	3,10 a	1669 a	2406 a

Valores promedio seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $P = 0,05$).

Tabla 8. Compuestos no azúcares inorgánicos en jugos mixtos de caña quemada.

Variedades	Cenizas g/100g °Bx N = 62 CV% = 15,27	P ₂ O ₅ mg/kg °Bx N = 62 CV% = 18,33	SiO ₂ mg/kg °Bx N = 62 CV% = 12,53
TUC 77-42	4,75 c	1539 a	2543 a
RA 87-3	3,58 b	1548 a	2278 a
CP 65-357	3,44 b	1550 a	2467 a
LCP 85-384	2,51 a	1391 a	2258 a

Valores promedio seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $P = 0,05$).

senta la caña cosechada de esta manera. En todos los casos, LCP 85-384 fue la variedad que menor contenido de compuestos inorgánicos presentó, mientras que TUCCP 77-42 fue la de mayor concentración de ellos. RA 87-3 y CP 65-357 no presentaron diferencias significativas entre sí para ningún tipo de cosecha.

Fosfatos. En las Tablas 7 y 8 se presentan las concentraciones determinadas de este anión, expresadas como P_2O_5 , para las cuatro variedades de caña en estudio, cosechadas con ambas modalidades. Para las cosechadas en verde, el contenido de P_2O_5 está comprendido en un rango de 1600 a 2100 mg/kg °Bx, equivalentes a 350 y 461 mg/kg. El análisis estadístico determinó diferencias estadísticamente significativas solamente entre TUCCP 77-42, la de mayor concentración, y las restantes. En caña quemada, no se determinaron diferencias significativas entre las cuatro variedades y sus valores resultaron, en promedio, 20% menores a los obtenidos con caña verde, estando comprendidos en un rango de 320 a 364 mg P_2O_5 /kg.

Según varios autores (Rein, 2007; Honig, 1969), son necesarios entre 250 y 300 mg/kg, expresados como P_2O_5 , para una buena clarificación del jugo, lo que sería cumplimentado por las cuatro variedades estudiadas, para ambos tipos de cosecha.

Silicio. En las Tablas 7 y 8 se muestran resultados obtenidos para este compuesto, expresados como mg/kg °Bx de dióxido de silicio, para las variedades estudiadas, cosechadas tanto en verde como con quema. En el primer caso, se determinaron diferencias significativas para una probabilidad del 5% solamente entre LCP 85-384 y las demás, siendo esta la variedad con menor concentración de este compuesto. Como fue de esperar, estos valores resultaron superiores a los determinados en caña quemada, los cuales no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre variedades. Las diferencias entre los dos tipos de cosecha fueron de aproximadamente 30%, excepto para LCP 85-384, con una diferencia menor en un 10%. Las concentraciones determinadas para este compuesto son superiores a las mencionadas por Lionnet and Walthew (2004) para jugos de caña de azúcar en Sudáfrica, quienes indicaron que las concentraciones de SiO_2 están principalmente afectadas por la ubicación geográfica del cultivo de la caña, y que el efecto variedad en general no es estadísticamente significativo.

El ácido silícico, importante en la fisiología de la caña, está presente en los jugos en forma coloidal, con una carga negativa, y reacciona con otros compuestos no azúcares coloidales formando compuestos generalmente insolubles (Honig, 1969). Su principal efecto negativo durante el proceso de elaboración de azúcar es su influencia en la sedimentación de los no azúcares durante la clarificación, en la filtrabilidad del jugo y en las incrustaciones producidas en la etapa de evaporación (Honig, 1969; Walthew *et al.*, 1998).

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en este trabajo, podría concluirse que:

- El comportamiento de las cuatro variedades estudiadas frente a los dos tipos de cosecha analizados fue el esperado. En todos los casos se observaron disminuciones en la extracción y en la cantidad de azúcar recuperable en fábrica cuando se procesó caña en verde. La variedad CP 65-357 mostró la mayor influencia del tipo de cosecha sobre el azúcar a recuperar en fábrica.
- Con este tipo de cosecha también aumentaron los contenidos de compuestos no azúcares, especialmente las concentraciones de almidón y cenizas. El color se vio incrementado entre un 6% y un 19%, dependiendo de la variedad.
- De las cuatro variedades estudiadas, LCP 85-384 es la que presentó el mejor comportamiento fabril por su mayor contenido en azúcar y menores tenores en fibra y compuestos no azúcares, independientemente del tipo de cosecha.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Bernhardt, H. W.; V. Pillay and A. Simpson. 2000. Impacts of green cane harvesting on sugar factory operation at Sezela. Proc. S. Afr. Sug. Technol. 74: 369–372.
- Bucheli, C. S. and S. P. Robinson. 1994. Contribution of enzymic browning to colour in sugarcane juice. J. Agric. Food Chem. 42: 257–261.
- Clarke, M. A.; R. S. Blanco and M. A. Godshall. 1986. Colorant in raw sugar. En: Proc. ISSCT Congress, 19, Yakarta, Indonesia, pp. 670–682.
- Clarke, M. A.; R. S. Blanco; M. A. Godshall and T. B.T To. 1985. Colour components in sugar refinery processes. En: Proc. Sugar Industry Technol. 44: 53-88.
- COPERSUCAR. 2004. Métodos de análisis em açúcar, álcool e processos. Versão 03. [CD ROM]. Centro de Tecnología Copersucar, Estado de Sao Paulo, Brazil.
- Cuenya, M. I.; S. Ostengo; E. Chavanne; M. Espinosa; D. Costilla y M. Ahmed. 2009. Variedades comerciales de caña de azúcar: estimación de su área de cultivo en Tucumán en la campaña 2007/2008. Avance Agroind. 30 (4): 10-13.
- Davies, J. 1998. The causes and consequences of cane burning in Fiji's sugar belt. J. Pac. Stud. 22: 1–25.
- Davis, S. B. 2001. The chemistry of colour removal: a processing perspective. Proc. S. Af. Technol. Ass. 75: 328–336.
- Diez, O. A.; G. Cárdenas y J. Scandaliaris. 2002. Incidencia de dos niveles de eficiencia de cosecha integral de caña de azúcar en la calidad industrial de la materia prima en Tucumán, Argentina. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 79 (1-2): 43-52.

- Diez, O.; S. Zossi; E. Chavanne y G. Cárdenas. 2000.** Calidad industrial de las variedades de caña de azúcar de maduración temprana LCP 85-384 y LCP 85-376 en Tucumán. Análisis de sus principales constituyentes físico-químicos. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán* 77 (2): 39-48.
- Godshall, M.A. 2004.** Report on collaborative study of SPRI rapid starch test for raw sugar. En: *Proc. ICUMSA Session Interim Meeting*, 24, Atlanta, GA, USA, pp. 37-41.
- Godshall, M. A.; B. Legendre; M. Clarke; X. Miranda and R. Blanco. 1996.** Starch, polysaccharide and proanthocyanidin in Louisiana sugarcane varieties. En: *Sugar Proc. Res. Conf.*, New Orleans, LA, USA, pp. 423-436.
- Hanine, H.; J. Mourgues and J. Molinier. 1990.** Aconitic acid removal during cane juice clarification. *Int. Sugar J.* 92 (1103): 219-230.
- Honig, P. 1969.** Principios de tecnología azucarera. Tomo 1. Propiedades de los azúcares y no azúcares. La purificación del jugo. Compañía Editorial Continental, S. A. México – España – Argentina.
- International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (ICUMSA). 2005.** Method book. Ed. Bartens, Berlin, Germany.
- Larrahondo, J. E. 1995.** Calidad de la caña de azúcar. En: Cassalet, D.; A. Torres y E. Isaacs (eds.), *El cultivo de la caña de azúcar en la zona azucarera de Colombia*, Cenicaña, Cali, Colombia, pp. 337-354.
- Lionnet, G. R. E. 1986.** Post – harvest deterioration of whole stalk sugarcane. En: *Proc. S. Af. Technol. Ass.* 6: 52-57.
- Lionnet, G. R. E. and D. C. Walthew. 2004.** Aspects of the effects of silica during cane sugar processing. En: *Proc. S. Af. Technol. Ass.* 78: 55-63.
- Mane, J.; D. L. Kimbhar; S. C. Barge and S. P. Phadnis. 2002.** Relationship between aconitic acid content in cane cultivars and molasses from various recovery zones of Maharashtra. *Int. Sugar J.* 104 (1240): 177-179.
- Olson, B. C. and G. M. Pope. 2004.** Cane supply and its impact on sugar colour. *Int. Sugar J.* 106 (1268): 426-436.
- Paton, N. H. 1992.** The origin of colour in raw sugar. En: *Proc. Conference of Australian Soc. Sugar Cane Technol.*, 14, Mackay, Queensland, Australia, pp. 8-17.
- Rein, P. 2007.** Cane sugar engineering. Ed. Bartens, Berlin, Germany.
- Romero, E. R.; J. Scandaliaris; P. Digonzelli; L. Alonso; F. Leggio; S. Casen; J. Tonatto and J. Fernández de Ullivarri. 2009a.** Effect of variety and cane yield on sugarcane potential trash. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán* 86 (1): 9-13.
- Romero, E. R.; J. Scandaliaris; P. Digonzelli; J. Tonatto; J. Fernández de Ullivarri; J. Giardina; L. Alonso; S. Casen y F. Leggio. 2009b.** Cosecha de la caña de azúcar. En: Romero, E. R.; P. Digonzelli y J. Scandaliaris (eds.), *Manual del cañero*, EEAOC, Tucumán, R. Argentina, pp. 159-174.
- Rupa, T. R. and S. Asokan. 2008.** Effect of rind pigments and juice colorants on juice clarity, settling time and mud volume of sugarcane. *Sugar Tech.* 10 (2): 109-113.
- Saska, M. and N. Gil Zapata. 2006.** Some observations on feasibility of recovering aconitic acid from low purity sugarcane liquors. *Int. Sugar J.* 108 (1288): 203-209.
- Smith, P. and P. E. Gregory. 1971.** Analytical techniques for colour studies. En: *Proc. ISSCT Congress*, 14, New Orleans, Louisiana, USA, pp. 1415-1425.
- Smith, P. and M. Hall. 1971.** Sugarcane anthocyanins as colour precursors and phytoalexins. En: *Proc. ISSCT Congress*, 14, New Orleans, Louisiana, USA, pp. 1139-1146.
- South African Sugar Technologist Association (SASTA). 2005.** Laboratory manual including the official methods. 4. ed. [CD ROM]. SASTA, Durban, South Africa.
- Van der Poel, P. W.; H. Schiweck and T. Schwartz. 1998.** Sugar technology. Beet and cane sugar manufacture. Ed. Bartens, Berlin, Germany.
- Walthew, D. C.; F. Khan and R. Whitelaw. 1998.** Some factor affecting the concentration of silica in cane juice evaporators. *Proc. S. Afr. Sug. Technol.* 72: 223-227.
- Zossi, B. S.; G. Cárdenas; N. Sorol y M. Sastre. 2010.** Influencia de compuestos azúcares y no azúcares en la calidad industrial de caña de azúcar en Tucumán (R. Argentina). Parte 1: caña limpia y despuntada. *Rev. Ind. Agríc. de Tucumán* 87 (2). En prensa.
- Zossi, B. S.; M. E. Navarro y M. Alva. 2008a.** Ácidos orgánicos en caña de azúcar. [CD ROM]. En: *Congreso Nacional de Química "Dr. Pedro José Aymonino"*, 27, Tucumán, Argentina.
- Zossi, B. S.; M. E. Navarro; N. Sorol; M. Sastre y R. M. Ruiz. 2008b.** Validación de una metodología para determinar el contenido de almidón en azúcar. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán* 85 (2): 1-7.