

# 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

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

### RESUMEN

Se estudió la concentración de compuestos azúcares y no azúcares, especialmente los que influyen en la formación del color y otros que inciden en el proceso industrial de producción de azúcar blanco directo, de las cuatro variedades comerciales de caña más difundidas en Tucumán (R. Argentina): TUCCP 77-42, LCP 85-384, CP 65-357 y RA 87-3. Estos ensayos fueron realizados durante las zafas 2004 a 2007 en caña limpia y despuntada. Los parámetros analizados fueron: extracción de jugo, Brix %, pol % en jugo y en caña, sacarosa y azúcar recuperable. Se estudiaron no azúcares inorgánicos, tales como cenizas, fosfato y sílice, y no azúcares orgánicos: fibra, almidón, compuestos antocianos y fenoles, nitrógeno amínico, ácidos cis y trans-aconítico, "indicator value" y color. De las cuatro variedades analizadas, la que mejor comportamiento presentó para producir azúcar blanco directo fue LCP 85-384, por su alto contenido en sacarosa y bajo contenido de componentes no azúcares. El segundo lugar le correspondió a la variedad RA 87-3, seguida por CP 65-357 y TUCCP 77-42.

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

### ABSTRACT

#### Influence of sugar and nonsugar compounds on sugarcane industrial quality in Tucumán (Argentine Republic)

The concentration of sugar and nonsugar compounds, especially those which play a part in colour formation and others which affect direct white sugar manufacturing process, was studied in the four commercial cane varieties most widely grown in Tucumán (Argentine Republic): TUCCP 77-42, LCP 85-384, CP 65-357 and RA 87-3. Trials with clean cane were conducted during the 2004-2007 harvests. Analyzed parameters were: juice extraction, Brix %, pol % in juice and cane, sucrose and sugar recovery. Inorganic nonsugar compounds, such as ash, phosphate and silica, as well as organic ones, such as fibre, starch, anthocyanin and phenolic compounds, amino nitrogen, cis and trans-aconitic acids, indicator value and colour, were studied. Results showed that LCP 85-384 variety had the best factory performance to produce direct white sugar because of its high sucrose and low nonsugar component contents. Second position corresponded to RA 87-3 variety, followed by CP 65-357 and TUCCP 77-42.

**Key words:** sugarcane varieties, composition of sugarcane juice, direct white sugar.

---

\*Sección Química de Productos Agroindustriales, EEAOC. [silviazossi@eeaoc.org.ar](mailto:silviazossi@eeaoc.org.ar)

\*\*Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales, EEAOC.

## INTRODUCCIÓN

La composición de la caña de azúcar depende de un gran número de factores, incluyendo su edad, su tolerancia a enfermedades, las condiciones de cultivo y el uso o no de madurantes (Rein, 2007).

El jugo de caña está compuesto por azúcares, sustancias solubles llamadas no azúcares y agua. Entre los primeros, la sacarosa es el principal constituyente, siguiéndole en concentraciones decrecientes, la glucosa, fructosa y los oligosacáridos. Los no azúcares son sales de ácidos orgánicos e inorgánicos, ácidos carboxílicos, aminoácidos, proteínas, polisacáridos solubles, almidón, ceras y grasa y otros compuestos minoritarios, tales como flavonoides, polifenoles, etc. (van der Poel *et al.*, 1998).

Inicialmente se empleaban, como indicadores de calidad del jugo, a los grados Brix, pol% jugo y pureza. Años más tarde, Larrahondo (1995) afirmó que la calidad industrial de la caña de azúcar depende de la cantidad de azúcar recuperable, la que está influenciada por el contenido de sacarosa, la cantidad de materiales extraños, el contenido de fibra y la concentración de sólidos solubles diferentes a la sacarosa. Siguiendo esta idea, en la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) se realizaron estudios de la calidad de algunas variedades comerciales de caña, estudiando el comportamiento de los parámetros antes mencionados y de algunos no azúcares (Cárdenas *et al.*, 2000; Díez *et al.*, 2000).

Los componentes no azúcares son generalmente factores importantes, responsables de efectos negativos en la recuperación de azúcar en la industria. Por ejemplo, un aumento en el contenido de cenizas provoca una disminución en la recuperación de la sacarosa del jugo; asimismo, concentraciones bajas de fosfatos, por debajo de 300 mg/kg, ocasionan una clarificación deficiente (Pérez Capote *et al.*, 2000). A su vez, el almidón incrementa la viscosidad, inhibe la cristalización y causa problemas durante el proceso de refinación (Rein, 2007).

Los compuestos antocianos están relacionados con los pigmentos de las plantas. Varían de color entre rojo, rosa o anaranjado bajo ciertas condiciones, tales como acidez, calor y enfermedades, y están relacionados con los polisacáridos de la caña (Legendre *et al.*, 1999). Aunque su concentración no causa efectos negativos durante la fabricación de azúcar, influyen en el color del jugo.

Los compuestos fenólicos son importantes desde el punto de vista del proceso de elaboración de azúcar, debido a que reaccionan con iones metálicos para producir sustancias altamente coloreadas (Godshall y Legendre, 1988). Según estos autores, más de dos tercios del color en el jugo se deben al pardeamiento enzimático de estos compuestos. También experimentan reacciones no enzimáticas de oxidación y auto

polimerización, formando pigmentos oscuros; reaccionan con proteínas y aminoácidos, tornando compuestos coloreados de melanina de marrones a negros, y reaccionan con aldehídos, en presencia de ácidos, formando productos de condensación rojos.

El contenido de sílice causa problemas en la etapa de evaporación (Barker y Davis, 2005).

Los ácidos orgánicos en el jugo constituyen una parte variable, pero significativa, del total de no azúcares solubles de la caña, y a ellos se debe la mayor proporción de la acidez titulable del jugo. La mayoría está presente en concentraciones relativamente bajas, como productos normales del metabolismo (Honig, 1969). El ácido presente en mayor cantidad en los jugos de caña es el aconítico, y puede existir en dos formas geométricas: el isómero trans (la forma predominante en el jugo de caña fresco) y el isómero cis. Su presencia es importante en el proceso de clarificación, debido al rol que cumple en la capacidad "buffer" del jugo y a su efecto inhibitorio en la precipitación del fosfato de calcio (Hanine *et al.*, 1990). Además, no solamente contribuye significativamente en la formación de incrustaciones en calentadores de jugo y evaporadores, sino también en el ensuciamiento de las columnas de destilación en destilerías de alcohol de melazas (Mane *et al.*, 2002).

Aunque el color del jugo de la caña de azúcar no influye en la recuperación de la sacarosa, es importante en la calidad del azúcar obtenido, tanto blanco como crudo, ya que el color en este último tipo de azúcar incidirá en los costos de refinación. Cuando se extrae el jugo también se extraen otros compuestos de la caña, algunos coloreados y otros sin color, transformándose una proporción de ellos en complejos coloreados que influirán en el color del azúcar (Paton, 1992). De igual manera, el contenido de nitrógeno amínico tampoco influye en la recuperación de sacarosa; solamente indica la cantidad de grupos aminos y su potencial para formar colorantes de alto peso molecular, sin carga, difíciles de remover durante la clarificación. Estos compuestos son también responsables de la reacción de Maillard (Clarke *et al.*, 1985).

Debido a la influencia que tienen los componentes no azúcares en la calidad del jugo de caña y en el proceso de elaboración de azúcar, 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 procesamiento fabril de las cuatro variedades de caña antes mencionadas, 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 contenido de "trash" de

aproximadamente 20%.

En esta primera parte, se presentan los resultados obtenidos con caña limpia y despuntada.

## 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 1 cultivados en el predio de la EEAOC, en El Colmenar, Tucumán, R. Argentina. Las muestras fueron tomadas cada quince días durante el período mayo – octubre de cada año estudiado.

Se trabajó con caña limpia, despuntada y preparada para su procesamiento, de acuerdo a lo establecido por Cárdenas *et al.* (2000). El jugo mixto se obtuvo con un 30% de inhibición.

El jugo 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).

En 164 muestras, se analizaron los siguientes parámetros en el jugo: extracción, Brix % jugo, pol % jugo, pureza, fibra % caña y azúcar recuperable, empleando la metodología citada en Diez *et al.* (2000).

Además, se determinaron:

- Almidón, según el método propuesto por Godshall (2004) y Zossi *et al.* (2008b).
- Fosfatos y cenizas conductimétricas, de acuerdo a la metodología ICUMSA (2005).
- Color, con la técnica recomendada por COPER-SUCAR (2004).
- 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 SASTA (2005).
- “Indicator value”, de acuerdo a Smith y Gregory (1971).

• Sacarosa real, por cromatografía líquida de alta resolución, empleando un detector de índice de refracción y columna Sugar Pak, de Waters.

• Ácidos cis y trans-aconítico, por cromatografía líquida de alta performance (HPLC), de acuerdo a Zossi *et al.* (2008a).

• Nitrógeno amínico, según Smith y Gregory (1971) y Clarke *et al.* (1985).

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 INFOSAT. La comparación de medias se realizó con el test de Tuckey a un nivel de confianza del 5%.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, se presentan resultados promedio de las determinaciones realizadas quincenalmente de los principales parámetros de calidad en jugo para las cuatro variedades estudiadas, durante los cuatro años de experimentación.

### Extracción

Este valor, que expresa la relación porcentual entre el jugo obtenido y la cantidad de caña que lo contenía, está asociado al contenido de fibra que posee la caña. Aunque este parámetro no coincide exactamente con el obtenido en fábrica, ya que en este caso se trabajó con caña pelada y limpia, sí podría ser indicativo de tendencias semejantes.

Se encontraron diferencias significativas en la extracción para las cuatro variedades comerciales de caña estudiadas, obteniéndose cantidades mayores de jugo en las variedades TUCCP 77-42 y LCP 85-384.

### Brix en jugo

Es el contenido porcentual en peso de sólidos solubles en agua (sacarosa, azúcares reductores y no azúca-

Tabla 1. Valores promedio de los principales parámetros de calidad de caña de azúcar.

| Variedad   | Extracción<br>% N=164<br>CV%= 5,01 | Brix jugo<br>% N= 164<br>CV%= 7,43 | Pol jugo<br>% N= 164<br>CV%= 9,23 | Sacarosa<br>% N= 164<br>CV%= 14,97 | Pol caña<br>% N= 164<br>CV%= 8,88 | Fibra<br>% N= 164<br>CV%= 9,27 | Azúc. rec.<br>% N= 164<br>CV%= 11,39 |
|------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| TUC 77-42  | 72,58 b                            | 20,04 a                            | 16,99 a                           | 17,33 a                            | 13,47 a                           | 14,37 a                        | 9,84 a                               |
| RA 87-3    | 68,59 a                            | 20,57 ab                           | 18,25 b                           | 18,61 b                            | 14,15 ab                          | 15,37 b                        | 11,01 b                              |
| CP 65-357  | 66,80 a                            | 20,74 ab                           | 18,23 b                           | 18,59 b                            | 13,89 a                           | 16,49 c                        | 10,52 ab                             |
| LCP 85-384 | 70,58 b                            | 20,92 b                            | 18,84 b                           | 19,22 b                            | 14,83 b                           | 14,21 a                        | 11,88 c                              |

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

res) y, como puede verse en la Tabla 1, para las cuatro variedades de caña estudiadas, solamente se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las variedades TUCCP 77-42 y LCP 85-384.

### Pol en jugo y sacarosa real

La pol en el jugo de las variedades estudiadas solo presenta diferencias estadísticamente significativas entre la variedad TUCCP 77-42 y las restantes. Este valor es una medida estrechamente relacionada con la concentración de sacarosa presente, y aunque se trata de un parámetro muy usado en la industria azucarera, su valor puede estar influenciado por otras sustancias presentes que tengan la propiedad de rotar la luz polarizada. Una medida más exacta del contenido de sacarosa en los jugos es la determinada por cromatografía, por lo que se empleó cromatografía líquida de alta performance para su cuantificación. Los valores de sacarosa encontrados fueron en promedio, un 2% mayor a los de pol, tanto para las variedades como para los años estudiados, con las mismas diferencias significativas. Estos resultados son coincidentes con los dados por la bibliografía para Louisiana y Sudáfrica (Rein, 2007).

### Pol en caña

Este parámetro cuantifica el contenido sacarino total de la caña y es una consecuencia de la calidad azucarera de la variedad. Su valor está fuertemente relacionado con el contenido de sacarosa en el jugo y la cantidad de fibra en la caña. De las variedades estudiadas, la que presenta mayor valor de pol % caña es LCP 85-384, con mayor concentración de sacarosa en el jugo y menor cantidad de fibra.

### Fibra en caña

La fibra de la caña de azúcar es una mezcla compleja de celulosa, hemicelulosa y lignina y su cantidad en el tallo es variable, dependiendo de la variedad de la caña, su edad y condiciones de crecimiento, entre otros factores (Rein, 2007). Su valor porcentual en la caña cosechada comercialmente depende, además de las condiciones de trabajo, del tipo de cosecha: caña quemada o sin quemar, verde, etc.

Como se dijo anteriormente, en este trabajo se empleó caña limpia y despuntada y, para estas condiciones, se encontraron diferencias significativas entre las variedades: la de menor contenido en fibra fue LCP 85-384, aunque los valores determinados son mayores a los encontrados por Diez *et al.* (2000), lo que puede ser consecuencia de las condiciones de cultivo.

### Azúcar recuperable

Este valor indica los kilos de azúcar que se esperan recuperar en el proceso fabril por cada 100 kg de caña y, aunque no representa sino en forma aproximada la canti-

dad de azúcar que puede obtenerse en fábrica, es útil para comparar el comportamiento fabril entre distintas variedades (Diez *et al.*, 2000). Como su valor está relacionado con el contenido de sacarosa (pol % caña) y de la extracción, la cual a su vez depende del contenido de fibra, es razonable que existan diferencias significativas entre las variedades estudiadas.

En este aspecto de la evaluación, el "ranking" de calidad de las cuatro variedades de caña para las condiciones estudiadas (analizando el jugo primario), resulta ser el siguiente, en orden decreciente: LCP 85-384, RA 87-3, CP 65-357 y TUCCP 77-42.

### Componentes no azúcares

Como se mencionó anteriormente, estos componentes provocan efectos negativos durante el proceso industrial y, aunque algunos de ellos no influyen sobre la cantidad de azúcar a recuperar, sí lo hacen sobre su calidad, por lo que es necesario estudiarlos antes de liberar o recomendar una nueva variedad para la producción de azúcar. Las determinaciones de estos compuestos no azúcares se hicieron sobre jugo mixto.

### Almidón

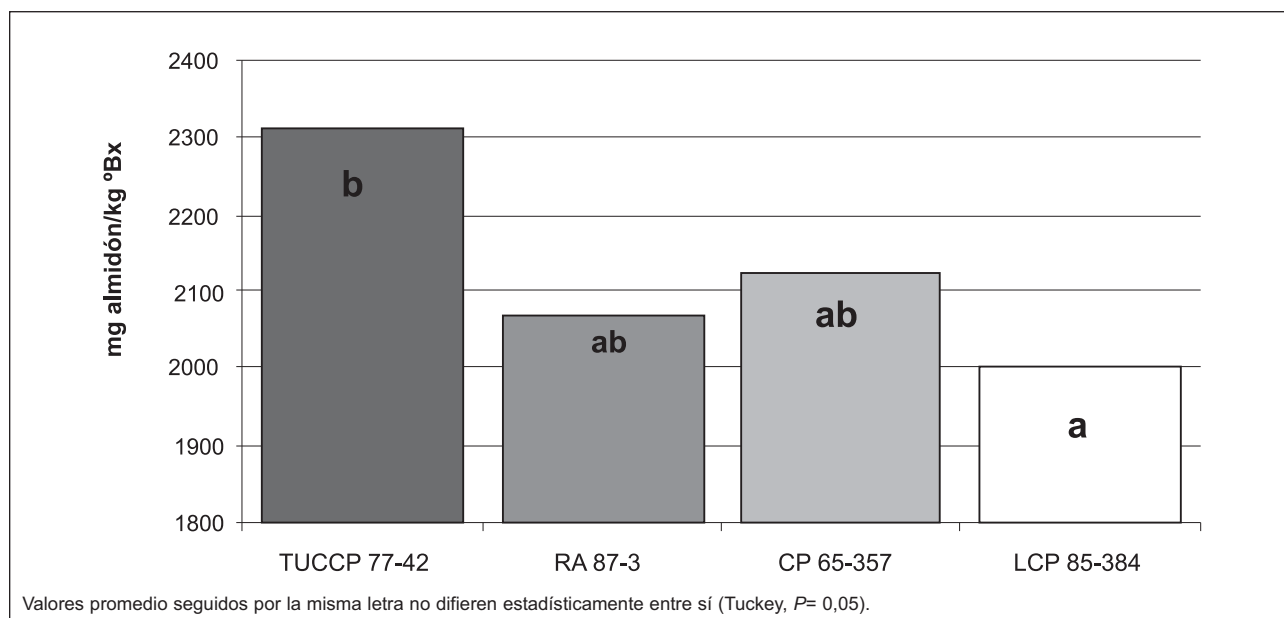
El almidón, constituyente natural de la caña de azúcar, es un polisacárido formado por cadenas de amilosa y amilopectina, ambos polímeros de glucosa, que la planta emplea como compuesto de almacenamiento alternativo de energía. Se forma en la caña de azúcar durante la ausencia de luz solar y es convertido en sacarosa en presencia de esta (van der Poel *et al.*, 1998).

En la Figura 1, se muestran los resultados determinados para este polisacárido en las variedades de caña más difundidas en la provincia, durante los cuatro años estudiados.

Las concentraciones de almidón determinadas para estas cuatro variedades, comprendidas en un rango de 2000 y 2300 mg/kg °Bx, están en el orden de las mencionadas en la literatura para variedades de caña de Louisiana, Estados Unidos de América (van der Poel *et al.*, 1998), y son mayores que las determinadas empleando una metodología diferente, la descrita por Diez *et al.* (2000) para las variedades LCP 85-384 y CP 65-357 en Tucumán.

Como se observa en la Figura 1, y de acuerdo al análisis realizado, solamente se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las variedades TUCCP 77-42 y LCP 85-384. De acuerdo a Clarke y Legendre (1996), el contenido de almidón en caña de azúcar está fuertemente correlacionado con la variedad y no solamente depende del tipo de cosecha y estado de madurez, sino que también puede incrementarse a causa de enfermedades.

En el proceso de molienda, gran parte del almidón que es insoluble en la caña, se solubiliza por efecto del



**Figura 1. Valores promedio de concentración de almidón (N= 151 y CV%= 19,32).**

calor y pasa a los jugos (Rein, 2007). Además, a pesar de que un gran porcentaje puede ser eliminado durante el proceso de clarificación y cristalización, algunos estudios indican que entre un 30% y 40% de este polisacárido puede ocluirse en el cristal de azúcar crudo (Cuddihy *et al.*, 2001; Rein, 2007).

De acuerdo a la bibliografía (van der Poel *et al.*, 1998; Cuddihy *et al.*, 2001; Rein, 2007), contenidos de almidón en jugo superiores a 250 mg/kg en base seca, causan problemas durante el proceso de elaboración de azúcar. Entre estos, los principales son el aumento de viscosidad de jugos y mieles por efecto de la gelatinización de los gránulos de almidón, dificultad en las operaciones de filtración, decantación, evaporación y cristalización, así como también incremento en la pureza de las melazas.

#### Color y no azúcares coloreados

En la caña de azúcar, el color es resultado de una mezcla altamente compleja de componentes que, por su origen, son similares en su estructura física y química (Smith y Gregory, 1971). El color influye directamente en el proceso industrial cuando se quiere producir azúcares blancos o crudos de bajo tenor en este parámetro, ya que su eliminación ocasiona costos adicionales.

Los principales compuestos responsables del color en la caña de azúcar son tres pigmentos: clorofila, antocianos y flavonoides. Tiene además otros constituyentes que, a pesar de no ser coloreados, son precursores de color, tales como compuestos fenólicos y derivados de los ácidos benzoico y cinámico (Godshall, 1996).

En este trabajo se determinaron color y los compuestos mayoritarios que lo originan, tales como compuestos antocianos y fenólicos.

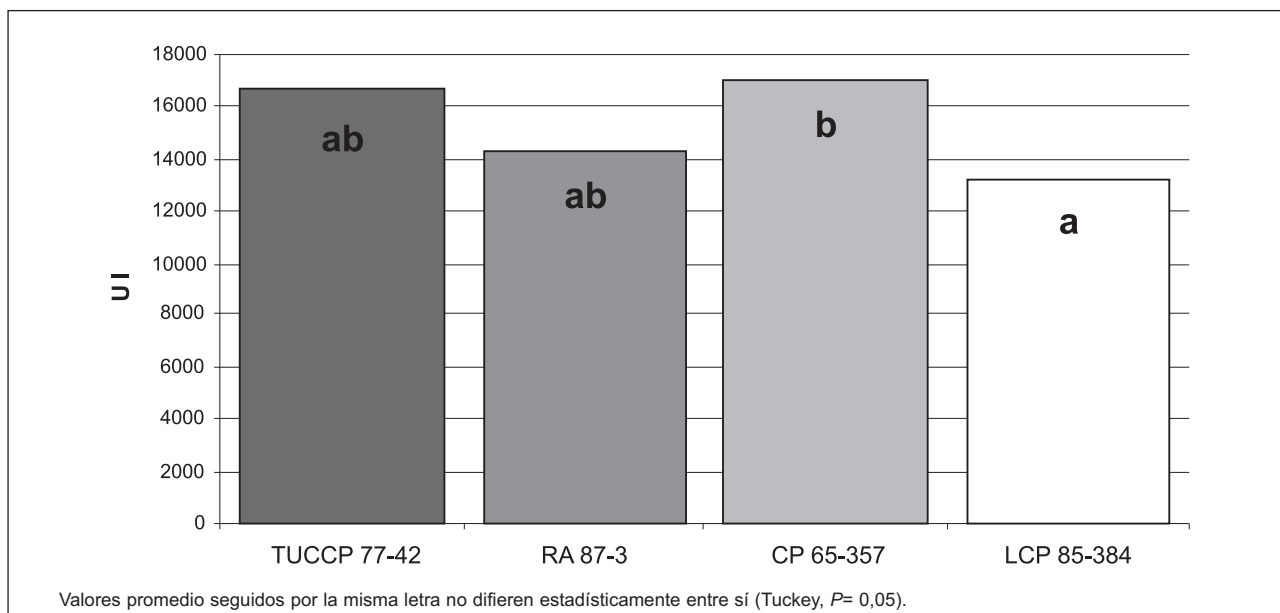
Los resultados obtenidos para color en las cuatro variedades estudiadas se muestran en la Figura 2.

Como se observa en la figura mencionada, los valores de color obtenidos durante los años 2004 a 2007, oscilan entre 13.206 y 17.070 UI, existiendo diferencias significativas solamente entre las variedades LCP 85-384 y CP 65-357. El menor valor lo presenta LCP 85-384, con menos color que RA 87-3 y TUCCP 77-42 en un 7% y 20%, respectivamente, sin presentar así diferencias estadísticamente significativas con respecto a estas variedades.

El color de estas variedades es menor a los determinados en Louisiana, EE. UU., para cultivares comerciales de esa zona, con valores comprendidos entre 16.700 y 21.500 UI (Saska y Zossi, 2010) para muestras procesadas en las mismas condiciones. También son menores a los valores resultantes de evaluaciones efectuadas en Sudáfrica (Walthew y Jensen, 2002) y la India (Koteeswaran, 2002). Probablemente, la gran diferencia de color existente entre jugos de variedades estudiadas en estos dos países se debería a factores tales como madurez de la caña, condiciones de cosecha y cantidad de "trash" que acompaña a la caña.

El color representa la cantidad de materia coloreada presente en el jugo de caña, la cual existe en muy pequeña concentración: alrededor de un 17% del 1% que forman los compuestos no azúcares (Honig, 1969; van der Poel *et al.*, 1998).

Los antocianos son una clase de compuestos flavonoides responsables de la pigmentación en el rango del rojo, violeta y azul en las plantas y que aumentan su color a medida que disminuye el pH (Smith y Hall, 1971). De acuerdo a estos autores, la concentración mayor de antocianos ocurre en el meristema apical de la caña.



**Figura 2. Valores promedio de color (N= 164 y CV%= 21,19).**

En la Figura 3, se presentan los resultados promedio de la concentración de compuestos antocianos para los cuatro años estudiados. Estos, presentes en la caña, ingresan al jugo durante la molienda, pero generalmente son eliminados durante la etapa de clarificación del proceso de elaboración de azúcar (Clarke *et al.*, 1988).

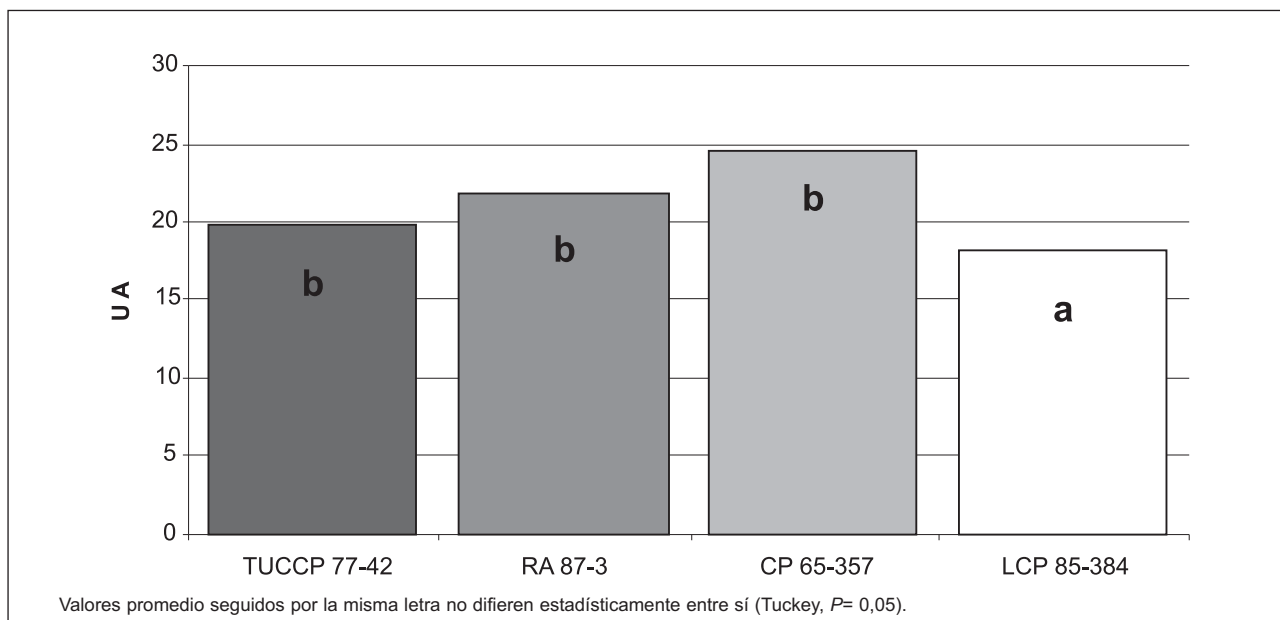
Como es de esperar, el análisis estadístico demostró diferencias significativas para las cuatro variedades estudiadas, coincidentes con las diferencias encontradas en el color. Los valores determinados para los compuestos antocianos, expresados en unidades de absorbancia, estuvieron comprendidos en un rango de 18 a 25.

En la Figura 4 están indicados los resultados promedio para los compuestos fenólicos en las cuatro variedades, expresados como mg/kg °Bx de ácido cafeico.

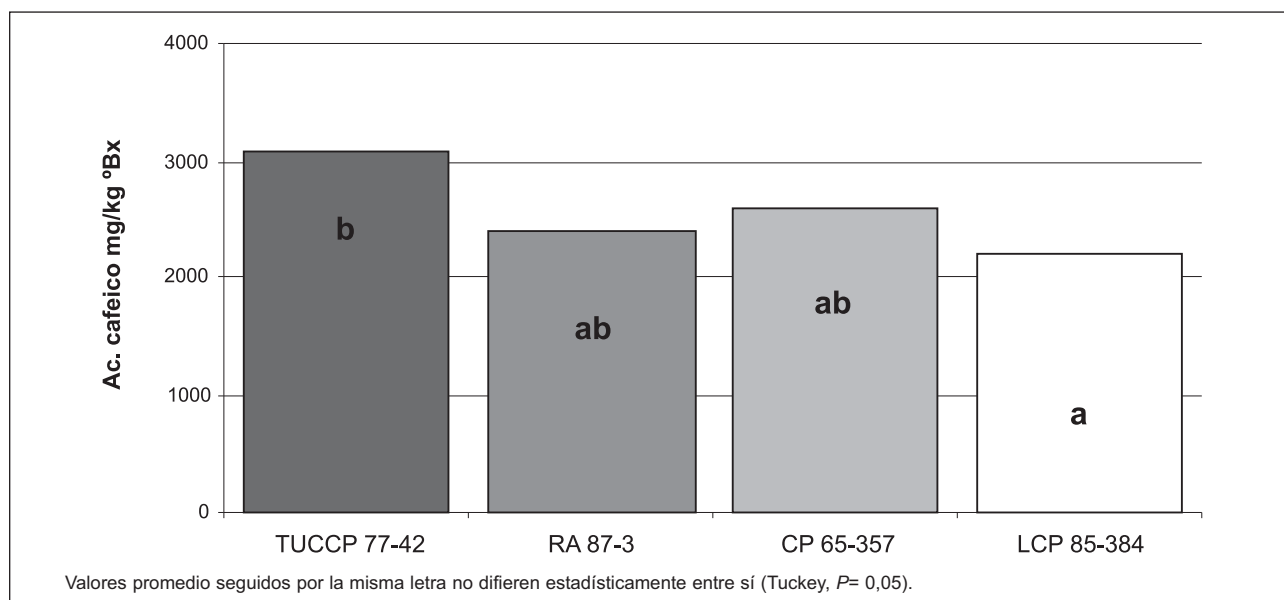
Los valores de fenoles están comprendidos entre 2200 y 3100 mg/kg °Bx de ácido cafeico, y resultan concordantes con los determinados por Godshall y Legendre (1988) en variedades de Louisiana (EE. UU.), y Rupa y Asokan (2008) en variedades de la India.

Puede observarse en la Figura 4, que las diferencias significativas encontradas para estas cuatro variedades son coincidentes con los resultados determinados para los dos parámetros evaluados precedentemente.

Los compuestos fenólicos, junto a los flavonoi-



**Figura 3. Concentración de antocianos en las cuatro variedades estudiadas (N= 127 y CV%= 27,39).**



**Figura 4. Concentración de compuestos fenólicos en las cuatro variedades estudiadas (N= 164 y CV%= 14,50).**

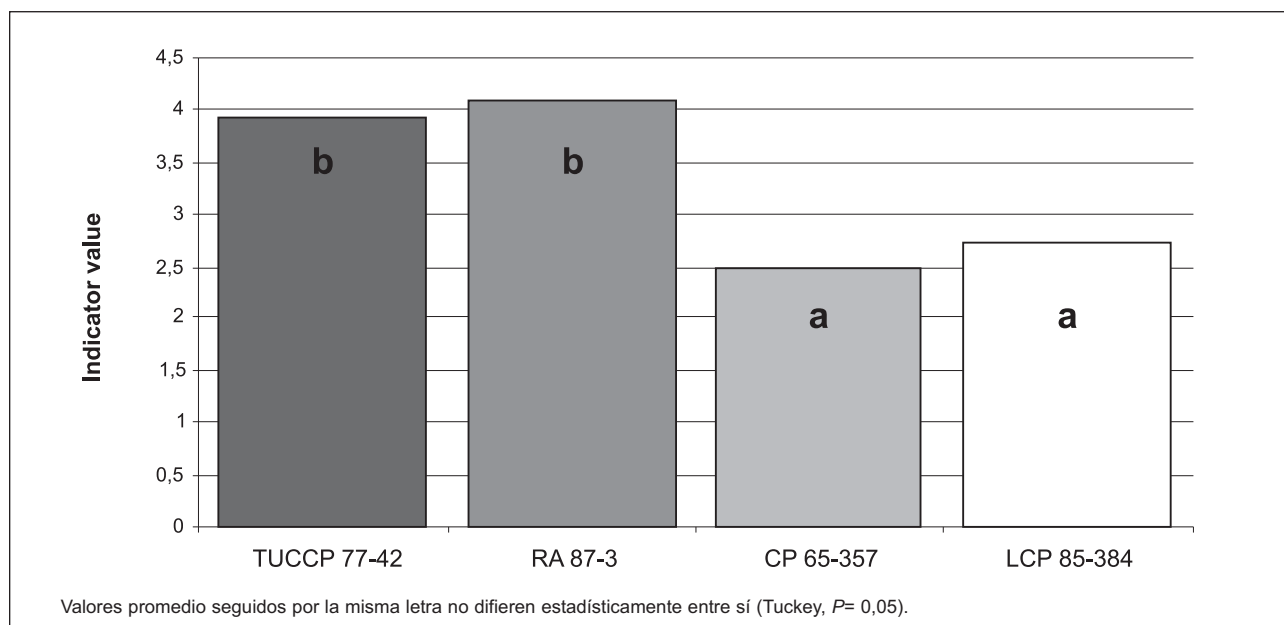
des, son responsables de aproximadamente dos tercios del color del azúcar crudo. Los primeros son compuestos generalmente incoloros, pero se oxidan o reaccionan con aminas o hierro, formando compuestos coloreados durante el proceso. Los flavonoides son polifenoles existentes en la planta de caña, responsables de reacciones de pardeamiento enzimático durante el proceso de elaboración de azúcar (Davis, 2001).

Varios ácidos fenólicos son incoloros o levemente coloreados a pH bajos y altamente coloreados a pH altos, característica importante durante el proceso de elaboración de azúcar. Una medida de la influencia del pH en el color del jugo de caña o del azúcar debido a los compues-

tos fenólicos, es el parámetro denominado "indicator value" (I. V.), que es simplemente la relación de colores medidos a pH 9 y a pH 4 (Godshall y Legendre 1988).

En la Figura 5 se muestran los resultados de los valores promedio de I. V. para las cuatro variedades de caña estudiadas, los que varían entre 2,49 y 4,09. Estos valores son concordantes con los informados en la literatura para jugos de caña en EE. UU. (específicamente Louisiana) y Australia (Godshall y Legendre 1988; Paton y Duong, 1992).

Los colorantes de alto peso molecular aumentan de color en pequeña proporción a medida que el pH se incrementa desde 4 a 9. Por el contrario, los compuestos flavo-



**Figura 5. "Indicator value" para las cuatro variedades estudiadas (N= 116 y CV%= 18,50).**

noides y fenólicos elevan notablemente el color en el mismo rango de pH, aunque algunos de ellos sean débilmente coloreados a pH 4. El color a pH 4 es a menudo una buena indicación de la contribución de colorantes de alto peso molecular al color e incluye el color formado a partir del pardeamiento enzimático. El color a pH 7 tiene alguna contribución de los compuestos flavonoides, mientras que el de pH 9 es el máximo color y se debe fundamentalmente al efecto de los álcalis sobre los flavonoides (Paton, 1992a).

### No azúcares inorgánicos

Los constituyentes inorgánicos de la caña de azúcar se presentan como iones solubles en agua, sales o constituyentes de moléculas orgánicas complejas o compuestos insolubles, que pueden encontrarse en el jugo de caña como sólidos suspendidos, y generalmente son removidos durante la etapa de clarificación. Según lo expresado por van der Poel *et al.* (1998), los cationes mayoritarios son potasio y sodio, y los aniones son silicatos, fosfatos y sulfatos. En general, su concentración en el jugo dependerá del tipo de suelo, nivel de irrigación y condiciones de fertilización.

En la Figura 6 se presentan los resultados del análisis estadístico del contenido de cenizas, medido por conductimetría, para los jugos de las cuatro variedades de caña de azúcar analizadas.

En estos ensayos, realizados con caña limpia y despuntada, los valores de cenizas determinados, comprendidos entre 2,28 y 4,59% m/m Bx, resultan menores a los que podrían encontrarse en fábrica, pero las diferencias estadísticas existentes entre las variedades serían equivalentes.

Según lo mencionado por Rein (2007), el contenido

total de cenizas en el jugo de caña, referido a materia seca, es en promedio 4%. Los resultados encontrados para las variedades TUCCP 77-42, RA 87-3 y CP 65-357 están próximos a este valor, pero el contenido de cenizas en LCP 85-384 es aproximadamente un 50% menor, lo que coincide con los valores de cenizas sulfatadas determinadas en estudios realizados por la EEAOC en años anteriores, comparando las variedades CP 65-357 y LCP 85-384 (Diez *et al.*, 2000).

### Fosfatos

Este anión es uno de los mayoritarios en el jugo de caña, tanto en forma de fosfatos inorgánicos como orgánicos. Tiene gran importancia en la elaboración de azúcar, durante el proceso de clarificación con cal, ya que su concentración influye fuertemente en sus resultados. Según Honig (1969), la mayor parte del fosfato soluble presente en el jugo precipita cuando se alcaliniza, bajo la forma de fosfatos insolubles de calcio y magnesio.

Los resultados de las determinaciones efectuadas en jugos de las variedades de caña comerciales más difundidas en Tucumán se presentan en la Figura 7.

Los valores determinados para las cuatro variedades están comprendidos entre 900 y 1500 mg/kg °Bx de  $P_2O_5$ . Según la bibliografía (Rein, 2007), el nivel de fosfatos en el jugo debe ser, como mínimo, de 200 mg/kg, expresado como  $P_2O_5$ , para que la clarificación sea satisfactoria. Con esta concentración, se elimina una mayor cantidad de coloides, el contenido de calcio en el jugo claro es menor, y por consiguiente presenta menor turbidez, los flóculos se forman con mayor velocidad, la sedimentación es más rápida y se obtiene un jugo menos coloreado.

El análisis de la varianza mostró diferencias significativas para el contenido de  $P_2O_5$  entre las variedades

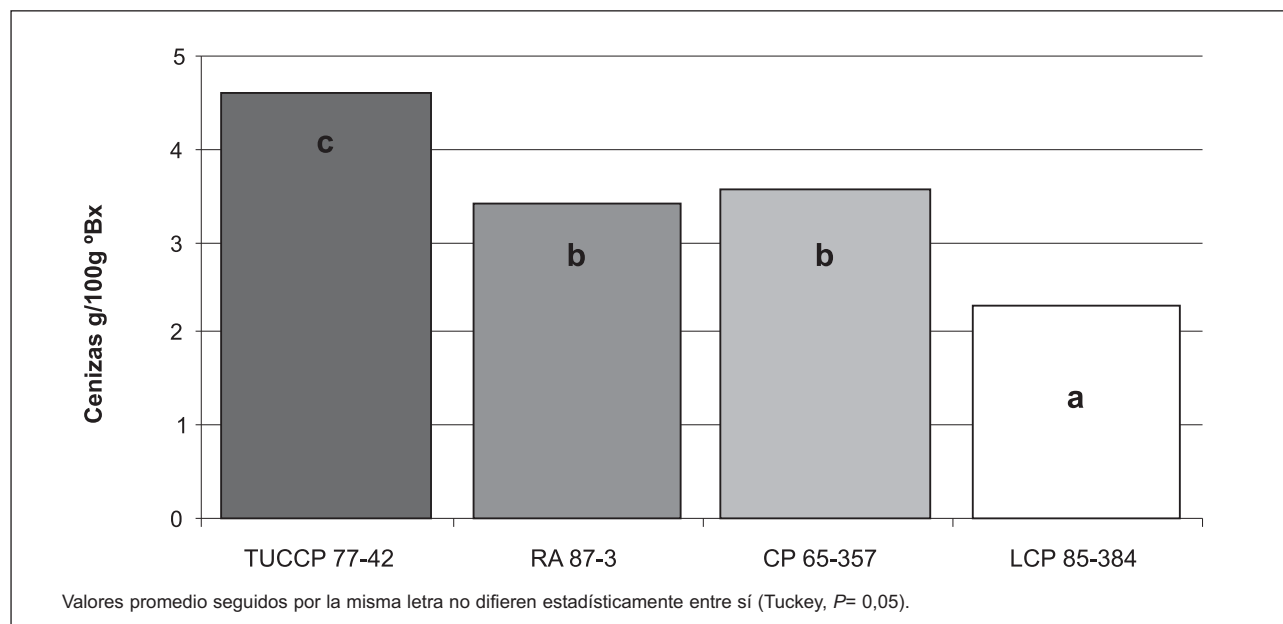
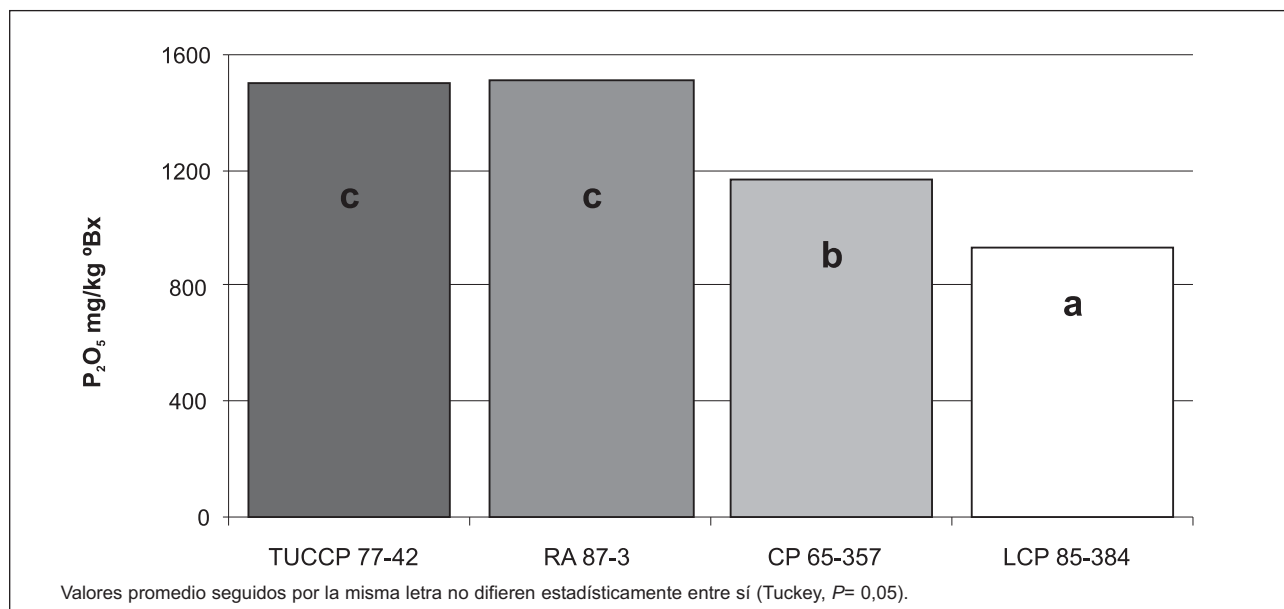


Figura 6. Concentración de cenizas conductimétricas en las cuatro variedades estudiadas (N= 104 y CV%= 12,73).



**Figura 7. Concentración de pentóxido de fósforo en las cuatro variedades estudiadas (N= 164 y CV%= 21,64).**

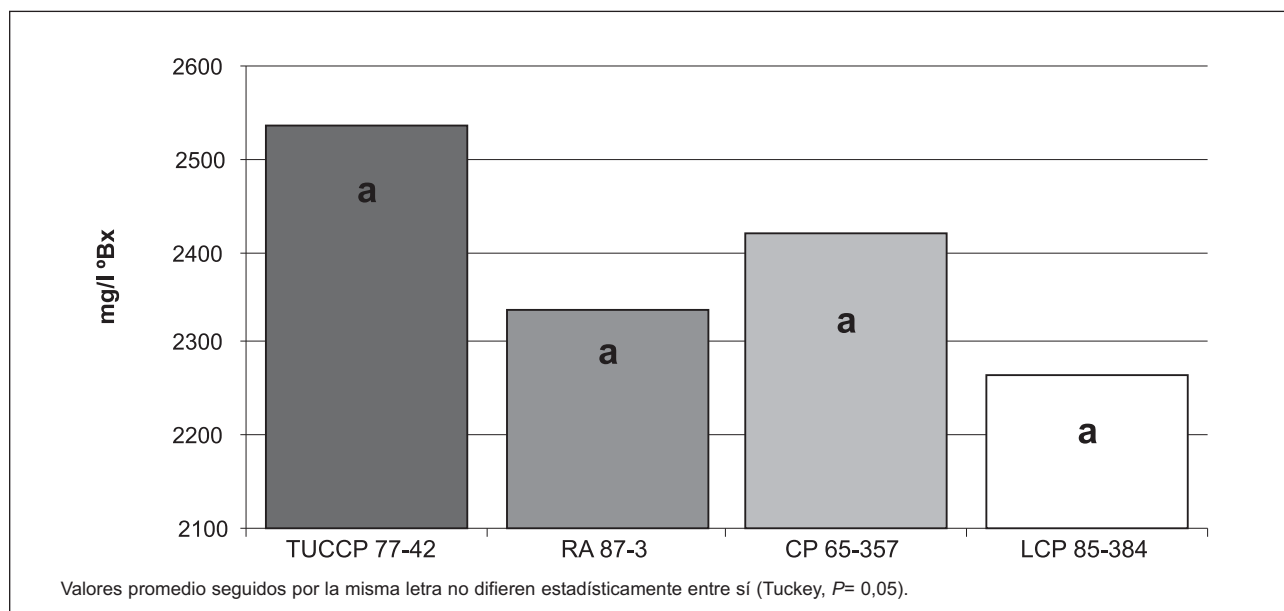
ensayadas, siendo la de menor concentración LCP 85-384. A pesar de esta diferencia, los niveles encontrados son suficientes para una buena clarificación, ya que los valores promedio, para todas ellas, son superiores a 200 mg/kg. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Diez *et al.* (2000) al analizar la composición de los jugos de algunas variedades de caña de Tucumán, entre ellas CP 65-357 y LCP 85-384.

#### Sílice

Es el principal componente de la corteza terrestre y además, es esencial para la planta de caña de azúcar, por lo que su presencia en el jugo es algo natural (Honig, 1969).

Los valores de este compuesto determinados en los jugos de caña limpia de las variedades estudiadas se muestran en la Figura 8. Como puede observarse, las concentraciones de sílice en los jugos de las cuatro variedades en consideración están comprendidas entre 2265 y 2536 mg/l °Bx. No se encontraron diferencias significativas en las 60 muestras analizadas para  $\alpha = 0,05$  y un CV%= 14,43, aunque la variedad que presentó la menor concentración de este compuesto fue LCP 85-384 y la mayor, TUCCP 77-42.

De acuerdo a Thangavelu y Rao (2002), el silicio protege la actividad fotosintética, preservando los tejidos verdes foliares contra la acción de agentes deshidratantes;



**Figura 8. Concentración de SiO<sub>2</sub> en jugo mixto.**

suprime la actividad de la amilasa, previniendo la acumulación del almidón y subsiguiente competición por las reservas de fosfato orgánico, e inhibe la actividad invertasa, evitando la inversión excesiva de la sacarosa en las etapas de pre y post cosecha. Cumple roles de regulador enzimático en la síntesis de azúcar, y su deficiencia en caña disminuye la velocidad de fotosíntesis del tejido de la hoja.

El principal efecto negativo que tiene el silicio en el proceso de elaboración de azúcar son las incrustaciones en evaporadores, debido a que este compuesto no es totalmente removido durante la clarificación (Walthew *et al.*, 1998).

El dióxido de silicio, según Lionnet y Walthew (2004), puede existir en forma cristalina, amorfa o hidratada. Su química es compleja, pues involucra cadenas y redes de uniones sílice-oxígeno, reacciona con metales como el aluminio, hierro, potasio, calcio y magnesio y con compuestos como los fenólicos, todos ellos presentes en el jugo de caña.

#### No azúcares orgánicos

**Nitrógeno amínico.** Las sustancias nitrogenadas están presentes en raíces, tallos, hojas y jugos de caña y su principal función es acelerar las diversas actividades biológicas de la planta. Las principales sustancias de este tipo son las proteínas y aminoácidos, estos últimos como integrantes de las moléculas de proteínas o aminoácidos libres (Honig, 1969).

Las concentraciones de nitrógeno amínico determinadas en los jugos de las variedades de caña de azúcar estudiadas se presentan en la Figura 9.

En las cuatro variedades de caña estudiadas, las concentraciones de nitrógeno amínico están comprendidas

en un rango de 300 y 600 mg/kg °Bx, existiendo diferencias significativas entre ellas.

Las proteínas están presentes en el jugo de caña en una concentración aproximada de 0,5 g por cada 100 g de materia seca. Su concentración puede variar con la variedad de caña, las condiciones de suelo y tipo y cantidad de fertilizante nitrogenado empleado (van der Poel *et al.*, 1998). Coagulan con el calor y la cal y ayudan a la clarificación de los jugos (Chen, 1984). Aunque su concentración es muy pequeña, su presencia es importante, ya que en el proceso de elaboración de azúcar pueden combinarse con los azúcares reductores presentes en el jugo, incrementando el color (Rein, 2007). Además, son responsables de la reacción de Maillard, que en realidad es un conjunto de diferentes reacciones que involucran a ambos compuestos, resultando en la formación de color y de sustancias de alto peso molecular que incrementan la viscosidad de las corrientes azucaradas en el proceso de elaboración de azúcar. Según Honig (1969), las sustancias nitrogenadas del jugo afectan la clarificación del azúcar y, posiblemente, la cantidad de azúcar que finalmente cristaliza.

Esta metodología para nitrógeno amínico da una indicación del nivel de grupos aminos primarios (usualmente de aminoácidos) en colorantes, aunque en ellos existen también grupos de aminos secundarios y terciarios. Pero esta evaluación es importante, ya que indica cuán reactivos son los grupos de aminos que poseen los colorantes y su potencial para formar este tipo de compuestos sin carga, de alto peso molecular y difíciles de remover (Clarke *et al.*, 1985).

#### Ácidos orgánicos

Constituyen una parte variable, pero significativa, del total de no azúcares solubles de la caña de azúcar, y a

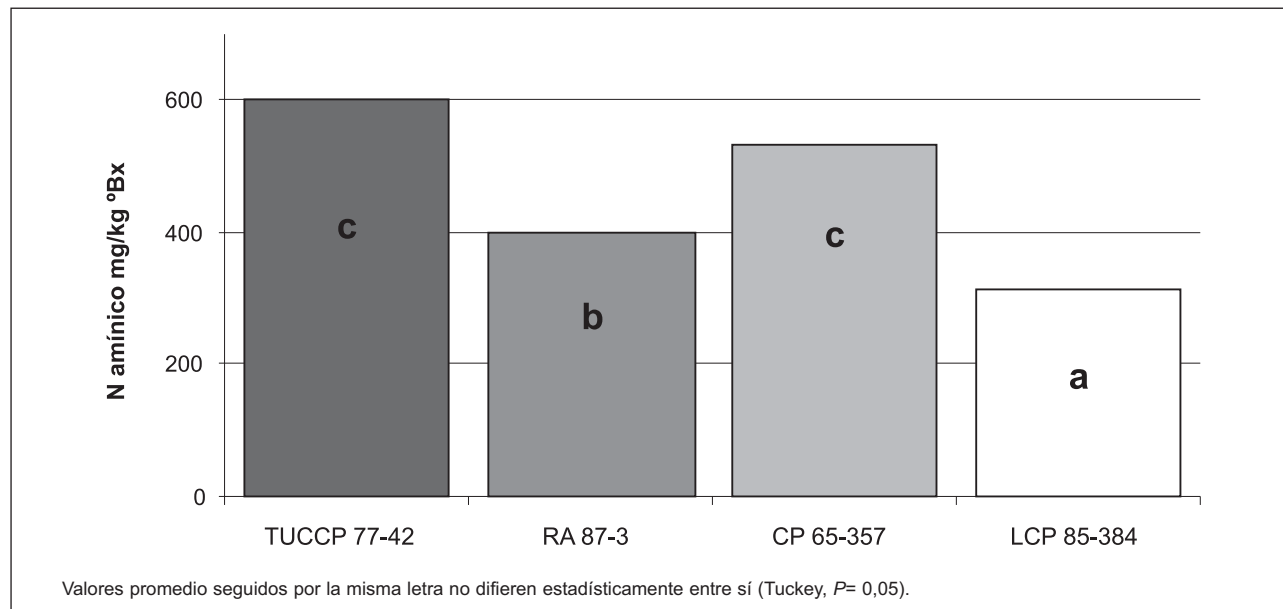


Figura 9. Concentración de nitrógeno amínico en jugo de variedades de caña comerciales de Tucumán (N= 76 y CV%= 22,56).

ellos se debe la mayor proporción de la acidez titulable de los jugos (Honig, 1969). Su concentración en estos está comprendida en un rango de 1,1 – 3,0 g/100 g de materia seca, siendo los principales constituyentes los ácidos cis y trans-aconítico, ácidos cítrico, fumárico, glicólico, málico, oxálico y shikímico (van der Poel *et al.*, 1998). El predominante es el aconítico y, como es un ácido no saturado, está presente en dos formas geométricas: el isómero trans, mayoritario en el jugo de caña, y el cis (Walford, 1998).

Datos en la literatura demuestran que solamente se elimina un 16% del ácido aconítico en la clarificación por sulfitación y que la mayor parte de este que ingresa a la fábrica con la caña, se concentra en el jarabe y eventualmente en la melaza (Mane *et al.*, 2002). Otros efectos indeseables de este compuesto en el proceso de elaboración de azúcar son: contribución a la formación de incrustaciones en eva-

poradores; formación de complejos melasigénicos con azúcares y, en las destilerías de alcohol que fermentan melazas, ensuciamiento de las columnas por la formación de aconitato de calcio. Por la importancia del ácido aconítico en la industria azucarera, en este trabajo se evaluó su concentración en sus dos formas isoméricas. En las Figuras 10 y 11, se presentan resultados de los contenidos de los ácidos cis y trans aconítico, respectivamente, en jugos de las cuatro variedades tucumanas estudiadas.

Como puede observarse en ambas figuras, existen diferencias significativas entre las cuatro variedades estudiadas en el contenido de los ácidos cis y trans-aconítico. En ambos casos, los jugos de LCP 85-384 son los que poseen niveles de concentración menores, mientras que TUCCP 77-42 posee el más alto. TUCCP 77-42 tiene un nivel mayor de ácido cis aconítico y trans aconítico que

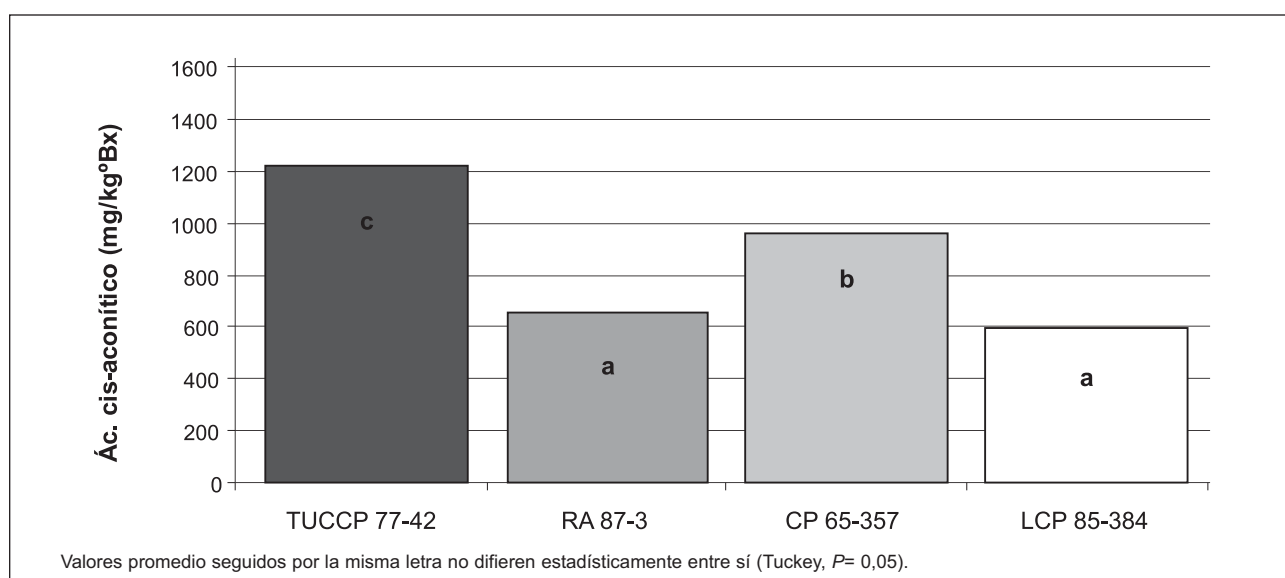


Figura 10. Concentración de ácido cis-aconítico (N= 100 y CV% = 24,47).

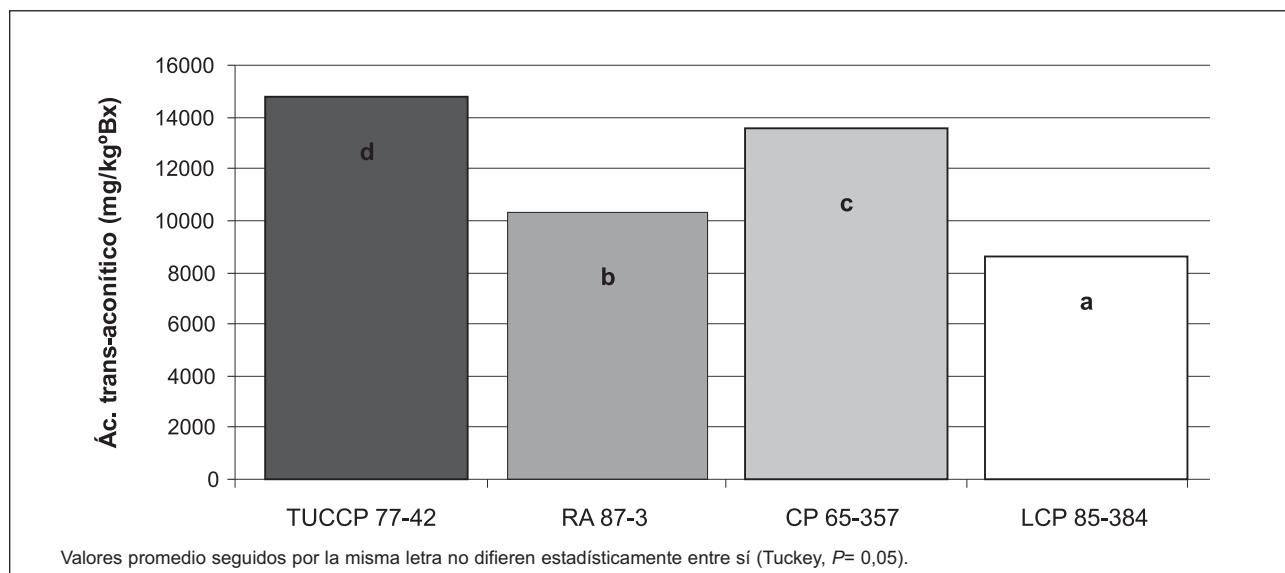


Figura 11. Concentración de ácido trans-aconítico (N= 100 y CV%= 5,57).

LCP 85-384 en un 200% y 170%, respectivamente.

Los niveles de estos compuestos, determinados en los jugos de las cuatro variedades estudiadas, coinciden con los mencionados en la bibliografía para otros países, los que están comprendidos en un rango de entre 5.000 y 15.000 mg/kg °Bx (Mane *et al.*, 2002; Hanine *et al.*, 1990).

También coinciden con lo informado por Walford (1998) sobre la relación cis aconítico/ trans aconítico para jugos mixtos, la que está comprendida entre 0,03 y 0,08. En Tucumán esta relación es de 0,07.

## CONCLUSIONES

De las cuatro variedades comerciales de caña, limpia y despuntada, LCP 85-384 es la que presenta mejores características desde el punto de vista industrial: posee mayor cantidad de sacarosa y menor contenido de fibra y cenizas, lo que implicaría mayor recuperación de azúcar en fábrica; resultados estos coincidentes con los de trabajos anteriores realizados en la EEAOC. Además, es la variedad que presenta menor color y menor concentración de compuestos que lo originan, lo que redundaría en una mejor calidad de azúcar, a pesar de su baja concentración de fosfatos. Por su bajo contenido en compuestos no azúcares, los problemas en fábrica debido a ellos deberían ser menores.

En segundo lugar, la variedad con muy buenas perspectivas industriales es RA 87-3. En último lugar se ubicaría TUCCP 77-42, que a pesar de ser la segunda variedad más difundida en la provincia y tener muy buenos rendimientos culturales, es la que presenta mayores desventajas desde el punto de vista industrial, por tener menor contenido de sacarosa y mayor concentración de compuestos no azúcares.

Debido a que el color es un atributo muy importante en la comercialización de azúcar, el estudio de los compuestos no azúcares que originan color en el jugo es una herramienta significativa para la selección de variedades. Esto es así especialmente cuando la industria tiene como objetivo la producción de azúcares de calidad, tanto blancos directos como crudos, destinados principalmente a la exportación, tendencia creciente en los mercados internacionales.

Se estableció una metodología para estudiar variedades de caña de azúcar liberadas y a liberar, considerando tanto los componentes azúcares como no azúcares y su influencia en el proceso fabril. De esta manera se amplían los criterios de evaluación de variedades aplicados anteriormente en la EEAOC (Cárdenas *et al.*, 2000; Diez *et al.*, 2000). Debido a la influencia que tiene el tipo de cosecha en la calidad de la caña de azúcar, restaría estudiar el comportamiento de los componentes azúcares y no azúcares bajo otras condiciones de cosecha.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Barker, B. and S. B. Davis. 2005.** Characterization of cane varieties based on sugar processing parameters. Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass. 79: 76-88.
- Cárdenas, G. J.; O. Diez; S. Zossi y M. Coronel. 2000.** Influencia de diferentes sectores del tallo en el comportamiento industrial de variedades de caña de azúcar de maduración temprana en Tucumán. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 77 (2): 29-37.
- Chen, J. C. P. 1984.** Cane sugar handbook. 11. ed. John Wiley, New York, USA.
- Clarke, M. A.; R. S. Blanco and M. A. Godshall. 1988.** Colorant in raw sugars. En: Proc. ISSCT Congress, 19, Indonesia, 1988, pp. 670-682.
- Clarke, M. A.; R. S. Blanco; M. A. Godshall and T. B. T. To. 1985.** Colour components in sugar refinery processes. Proc. Sugar Industry Technol. 44: 53-88.
- Clarke, M. A. and B. Legendre. 1996.** Sugarcane quality: impact on sugar yield and quality factors. Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass. 70: 16 – 19.
- COPERSUCAR. 2004.** Métodos de análisis em açúcar, álcool e processos. Versão 03 [CD ROM]. Centro de Tecnología Copersucar, Estado de Sao Paulo, Brazil.
- Cuddihy Jr, J. A.; M. E. Porro and J. S. Rauh. 2001.** The presence of total polysaccharides in sugar production and methods for reducing their negative effects. J. Amer. Soc. of Sugar Cane Technol. 21: 73-91.
- 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.
- Davis, S. B. 2001.** The chemistry of colour removal: a processing perspective. Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass. 75: 328-336.
- 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. 1996.** Recent progress in sugar colorants. En: Proc. Conf. on Sugar Processing Research, New Orleans, LA, USA, pp. 262 – 285.
- Godshall, M. A. 2004.** Collaborative study on starch in raw sugar using the SPRI rapid starch method. En: Proc. SPRI Conference, Atlanta, Georgia, USA, pp. 442-448.
- Godshall, M. A. and B. Legendre. 1988.** Phenolic content of maturing sugar cane. Int. Sugar J. 90 (1069): 16 – 19.
- 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, 1996, 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. Continental, S. A., México-Argentina.
- International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (ICUMSA). 2005.** Method book. Bartens, Berlin, Germany.
- Koteeswaran, P. 2002.** Application of colour measurement of process intermediates for process control. En: Sugar Proc. Res. Conf., New Orleans, LA, USA, 2002, pp. 328-335.
- Larrahondo, J. E. 1995.** Calidad de la caña de azúcar. En: Cassalett, C.; J. Torres e C. Issacs (eds.), El cultivo de la caña de azúcar en la zona azucarera de Colombia, Cenicaña, Cali, Colombia, pp. 337-354.
- Legendre, B. L.; M. A. Clarke; M. A. Godshall and M. P. Grisham. 1999.** Developments in sugarcane agriculture that affect processing. Zuckerindustrie 124 (2): 120-125.
- Lionnet, G. R. E. and D. C. Walthew. 2004.** Aspects of effects of silica during cane sugar processing. Proc. S. Af. Sug. 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.
- Paton, N. H. 1992.** The origin of colour in raw sugar. En: Proc. Australian Society of Sugar Cane Technol. Conference, 14, Mackay, Queensland, Australia, pp. 8-17.
- Paton, N. H. and M. Duong. 1992.** Sugar cane phenolics and first expressed juice colour. Part III. Role of chlorogenic acid and flavonoids in enzymic browning of cane juice. Int. Sugar J. 94 (1124): 170-176.
- Pérez Capote, J. L.; C. Reyes Esquirol; H. J. Suárez y F. R. Díaz Mujica. 2000.** Evaluación de calidades de caña de azúcar atendiendo a la calidad de los jugos. Centro Azúcar 3: 21-25.
- Rein, P. 2007.** Cane sugar engineering. Bartens, Berlin, Germany.
- 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. y S. Zossi. 2010.** Color en variedades de caña de azúcar en Louisiana, USA. Informe técnico inédito. Audobon Sugar Institute.
- Smith, P. and P. E. Gregory. 1971.** Analytical techniques for colour studies. En: Proc. ISSCT Congress, 14, New Orleans, LA, USA, pp. 1415-1425.
- Smith, P. and P. M. Hall. 1971.** Sugarcane anthocyanins as colour precursors and phytoalexins. En: Proc. ISSCT, 14, New Orleans, LA, USA, pp. 1139-1146.
- South African Sugar Technologists Association (SASTA). 2005.** SASTA laboratory manual including the official methods. [CD ROM] 4. ed. South African Sugar Technologists Association, Durban, South Africa.
- Thangavelu, S. and C. Rao. 2002.** Silicon content in juice of sugarcane clones and its association with other characters at different stages of maturity. Sugar Tech. 4 (1-2): 57-60.
- Van der Poel, P. W.; H. Schiweck and T. Schwartz. 1998.** Sugar technology. Beet and cane sugar manufacture. Bartens, Berlin, Germany.
- Walford, S. N. 1998.** A laboratory investigation of aconitic acid isomerisation and some observations on isomerisation in factory processing. Proc. S. Af. Sugar Technol. Ass. 72: 234-240.
- Walthew, D. C. and C. R. C. Jensen. 2002.** Towards a new process to produce white sugar directly from cane juice. Proc. S. Afr. Technol. 76: 503-513.
- Walthew, D. C.; F. Khan and R. Whitelaw. 1998.** Some factors affecting the concentration of silica in cane juice evaporators. Proc. S. Af. Sug. Technol. Ass. 72: 223-227.
- Zossi, S.; M. E. Navarro y M. Alva. 2008a.** Ácidos orgánicos en caña de azúcar. [CD ROM]. En: Resúmenes de trabajos del Congreso Nacional de Química, 27, S. M. de Tucumán, R. Argentina, 2008, pp. 3-26.
- 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.