



Revista Industrial  
y Agrícola de  
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea  
1851-3018

Tomo 102 (2):  
41-46; 2025



ESTACION EXPERIMENTAL  
AGROINDUSTRIAL  
OBISPO COLOMBRES  
Tucumán | Argentina

Av. William Cross 3150  
T4101XAC - Las Talitas.  
Tucumán, Argentina.

**Trabajo  
presentado en  
el XXXII ISSCT  
Centennial  
Congress, 24  
al 28 de agosto  
de 2025, Cali,  
Colombia,  
traducido al  
castellano.**

Fecha de  
recepción:  
17/09/2025

Fecha de  
aceptación:  
19/09/2025

# Índice de selección basado en compuestos no-azúcares del jugo de caña de azúcar

Santiago Ostengo\*, Natalia Sorol\* y Mónica Balzarini\*\*

\* Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar, Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Las Talitas, Tucumán, Argentina; \*\* Facultad de Ciencias Agropecuarias-Universidad Nacional de Córdoba and Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de Argentina (CONICET), Córdoba, Argentina. Email: santiagostengo@eeaac.org.ar

## RESUMEN

El jugo de caña de azúcar está compuesto por azúcares, agua y diferentes sustancias solubles e insolubles conocidas como compuestos no-azúcares. Tanto los compuestos azúcares como los no-azúcares son cruciales en la fábrica, debido a que son responsables de efectos adversos en la calidad y recuperación de sacarosa. Los modelos mixtos multicarácter permiten la estimación de Predictores lineales insesgados o BLUPs (por sus siglas en inglés: *Best Linear Unbiased Predictors*), que pueden considerarse índices que resumen el mérito genético en función de varios caracteres. Este trabajo tiene como objetivo generar un índice que caracterice las variedades según su desempeño industrial relacionado con los compuestos no-azúcares. Se realizaron análisis de compuestos no-azúcares en 10 genotipos evaluados en seis localidades de Tucumán, Argentina. Se midieron almidón, cenizas, fosfatos, fenoles y color del jugo de caña durante el inicio de la zafra, a lo largo de tres años consecutivos. Se ajustaron modelos mixtos multicarácter y multiambiente (MTME, por sus siglas en inglés: *Multi-Trait Multi-Environment*) para obtener los BLUPs del efecto genético, considerados como un índice de calidad industrial (Ic). Valores negativos de Ic, más alejados de cero, indican genotipos con buen desempeño industrial en relación con los compuestos no-azúcares. El efecto aleatorio de la muestra se incluyó en el modelo para contemplar las correlaciones entre variables (V). El componente de varianza del efecto de genotipo (G) resultó estadísticamente significativo, lo que indica variabilidad entre variedades al considerar en conjunto los cinco compuestos no-azúcares. La variedad LCP 85-384 presentó el valor de Ic más bajo (-0,322), lo que sugiere una destacada aptitud industrial en función de los compuestos no-azúcares. En contraste, TUC 95-10 y TUCCP 77-42 mostraron los valores de Ic más altos. Los predictores de la interacción G×V revelaron que la baja calidad industrial de TUC 95-10 y TUCCP 77-42 se debe principalmente al alto contenido de almidón y cenizas en su jugo, respectivamente. El estudio logró desarrollar con éxito un índice (Ic) para evaluar el desempeño industrial de variedades de caña de azúcar en función de los compuestos no-azúcares, proporcionando una herramienta valiosa para la caracterización y selección de genotipos de acuerdo con un conjunto de caracteres de interés.

**Palabras clave:** caña de azúcar, compuestos no-azúcares, Índice de selección, BLUPs, modelos mixtos.

## ABSTRACT

### Selection index based on non-sugar compounds of sugarcane juice

The juice of the sugar cane is composed of sugars, water, and different soluble and insoluble substances known as non-sugar compounds. Both sugar and non-sugar compounds are crucial in the factory because they are responsible for adverse effects on the quality and recovery of sucrose. Multi-trait mixed models enable the estimation of BLUPs (Best Linear Unbiased Predictors), which can be considered indices summarizing genetic merit based on several traits. This work aims to generate an index that characterizes varieties according to their industrial performance related to non-sugar compounds. Analyses of non-sugar compounds were conducted on 10 genotypes evaluated across six sites of Tucumán, Argentina. Starch, ash, phosphates, phenols, and color of sugarcane juice were measured during the beginning of harvest season for three consecutive years.

Multi-trait and Multi-environmental Mixed models were adjusted to obtain BLUPs of the genetic effect, considered as an index of industrial quality ( $I_c$ ). Negative  $I_c$  values, further from zero, indicate genotypes with good industrial performance according to non-sugar components. The random effect of the sample was included in the model to account for the correlations between traits (T). The variance component of the genotype effect (G) was statistically significant, indicating variability among varieties when considering the five non-sugar components together. The LCP85-384 variety exhibited the lowest  $I_c$  value (-0.322), suggesting outstanding industrial suitability based on the non-sugar components. In contrast, TUC 95-10 and TUCCP 77-42 showed the highest  $I_c$  values. The predictors of the G×T interaction revealed that the poor industrial quality of TUC 95-10 and TUCCP 77-42 is mainly due to the high starch and ash content in their juice, respectively. The study successfully developed an index ( $I_c$ ) to evaluate the industrial performance of sugarcane varieties based on non-sugar components, providing a valuable tool for the characterization and selection of genotypes according to a set of traits of interest.

**Key words:** sugarcane, non-sugar compounds, Selection index, BLUPs, mixed models.

## INTRODUCCIÓN

El rendimiento de azúcar por unidad de área es el carácter más importante que se tiene en cuenta en un programa de mejoramiento genético de caña de azúcar. Este atributo depende del rendimiento de caña por hectárea y el rendimiento de sacarosa del jugo. Sin embargo, el jugo de caña de azúcar está compuesto por azúcares (sacarosa, glucosa y fructosa), agua y una amplia variedad de compuestos conocidos como “no-azúcares”, que pueden ser solubles (sales minerales, ácidos, fenoles, pigmentos, etc.) e insolubles/coloides (almidón, fibras, ceras, sílice, entre otros). Estos últimos compuestos son relevantes en la industria ya que son responsables de efectos adversos en la calidad y recuperación de azúcar (Eggleston *et al.*, 2006). Por ejemplo, incrementos en el contenido de cenizas y almidón pueden afectar la recuperación de sacarosa y el proceso de cristalización, respectivamente (Rein, 2007), mientras que concentraciones bajas de fosfatos (<300 mg/kg) pueden causar defectos en la clarificación (Pérez Capote *et al.*, 2000). Se ha documentado también que los compuestos antocianicos y fenólicos afectan el color del jugo y la calidad del azúcar (Godshall and Legendre, 1988; Legendre *et al.*, 1999). En particular, los fenoles impactan además en la velocidad de sedimentación.

El contenido de azúcar y de componentes no-azúcares en el jugo de la caña de azúcar depende de varios factores, incluyendo el efecto genotipo. Diversos estudios mostraron diferencias varietales en el contenido de compuestos no-azúcares (Hogarth and Kingstog, 1984; Mariotti *et al.*, 2001; Zhou *et al.*, 2007; Jackson *et al.*, 2008; Rupa and Asoka, 2008; Zossi *et al.*, 2010; Duarte-Almeida *et al.*, 2011).

El Programa de Mejoramiento Genético de Caña de azúcar (PMGCA) de la EEAOC ha llevado a cabo evaluaciones especiales, asociadas a compuestos no-azúcares, sobre clones avanzados y variedades comerciales, con el propósito de ampliar su caracterización en relación a la calidad industrial (Ostengo *et al.*, 2019).

En un contexto de evaluaciones de variedades a

través de múltiples caracteres, es habitual la implementación de índices de selección para la caracterización y selección simultánea de estos caracteres (Falconer and Mackay, 1996). Los índices de selección derivan de modelos estadísticos que permiten usar la información de los distintos caracteres conjuntamente. Por ejemplo, a partir de un único valor índice, es posible caracterizar un genotipo por múltiples caracteres. Los modelos mixtos brindan también el marco adecuado para ajustar un modelo que integre información de diferentes caracteres, ya que permite considerar la correlación existente entre ellos (Malosetti *et al.*, 2008). El ajuste de modelos mixtos Multicarácter, que consideran el efecto genotipo como aleatorio, permite la estimación de los Blups (Best Linear Unbiased Predictors), los cuales pueden ser considerados como índices que resumen el mérito genético según el conjunto de caracteres evaluados (Piepho *et al.*, 2008; Covarrubias-Pazaran *et al.*, 2018).

El presente trabajo tiene como objetivo generar un índice que permita caracterizar las variedades según su aptitud industrial relacionada a los compuestos no-azúcares.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Datos

Se realizaron determinaciones asociadas a compuestos no-azúcares sobre un conjunto de 10 genotipos de caña de azúcar, de los cuales seis corresponden a clones avanzados del PMGCA-EEAOC, y cuatro a variedades comerciales cultivadas en Tucumán (Tabla 1). Los genotipos fueron evaluados en un ensayo multiambiente conducido en seis sitios del área cañera de Tucumán. Los genotipos seleccionados en este estudio representan una muestra aleatoria de posibles clones evaluados en una etapa avanzada del PMGCA-EEAOC. De manera similar, los sitios elegidos representan entornos ambientales de producción de caña de azúcar que difieren en las características edafoclimáticas.

Los ensayos fueron plantados en 2011 según un diseño en bloques completamente aleatorizados, donde la unidad experimental estuvo conformada por tres surcos de 10 metros de largo. Una muestra de 10 tallos fue tomada al azar de cada parcela en el inicio del periodo de cosecha (mayo) durante tres años consecutivos de cultivo (ciclo del cultivo/años): soca 1/2013, soca 2/2014 y soca 3/2015.

**Tabla 1.** Genotipos de caña de azúcar evaluados según diferentes compuestos no-azúcares.

Genotipos			
1	TUC 02-19	6	TUC 03-22
2	TUC 02-45	7	LCP 85-384
3	TUC 02-60	8	TUCCP 77-42
4	TUC 02-71	9	RA 87-3
5	TUC 03-1	10	TUC 95-10

Las muestras de tallos limpios y correctamente despuntados fueron procesados en laboratorio con un desfibrador y el jugo fue extraído con una prensa hidráulica. En el jugo se hicieron las siguientes determinaciones analíticas: 1) contenido de almidón (mg/kg°Bx) de acuerdo al método propuesto por Godshall (2004) y Zossi *et al.* (2008); 2) contenido de fenoles (mg/kg°Bx) según Clarke *et al.* (1985); 3) color del jugo (U.I. – unidades ICUMSA); 4) contenido de cenizas conductimétricas (g/100 g) y 5) contenido de fosfatos (mg/l). Las tres últimas determinaciones fueron realizadas de acuerdo a lo propuesto por la Comisión Internacional para Métodos Uniformes de Análisis de Azúcar (ICUMSA, del inglés *International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis*) (ICUMSA, 2005).

### Procedimiento de Análisis

Con el propósito de obtener predictores genéticos del tipo BLUP para cada variedad, que permitan la caracterización de la aptitud genética en función del conjunto de caracteres no-azúcares (almidón, cenizas, color, fenoles y fosfatos), se ajustó el siguiente modelo mixto:

$$y = X\beta + Zu + e$$

donde **y** es el vector respuesta que contiene los valores de los componentes no azúcares para cada observación. El vector de efectos fijos **β** contiene la media general y un indicador de la variable (V) medida en cada elemento del vector respuesta. El vector **β** se asocia a las observaciones a través de la matriz de diseño X. El modelo también incluye un vector de efectos aleatorios (**u**) que contiene los efectos de genotipo (G), ambiente (E), muestra (M) y las interacciones G×V, G×E, E×V y G×E×V. Los efectos aleatorios se asocian al vector de observaciones a través de la matriz de incidencia Z. El vector **e** contiene términos de error asociados a cada dato del vector **y**. Todos los efectos aleatorios se asumen independientes, con distribución normal con media 0 y varianzas iguales a:  $\sigma^2_G$ ,  $\sigma^2_A$ ,  $\sigma^2_M$ ,

$\sigma^2_{G \times V}$ ,  $\sigma^2_{G \times E}$ ,  $\sigma^2_{E \times V}$  y  $\sigma^2_{G \times E \times V}$ . La prueba de significancia de los componentes de varianza se realizó mediante el estadístico Likelihood Ratio Test (LRT). A partir de los componentes de varianza  $\sigma^2_G$  y  $\sigma^2_{G \times V}$  se calcularon los predictores genéticos (BLUPs) de interés. El efecto aleatorio dado por la muestra (M) -tomada de cada genotipo en cada parcela, y ambiente-, sobre la cual se realizaron las determinaciones de los cinco componentes, fue incluido en el modelo con el objeto de contemplar las correlaciones existentes entre las variables (Schabenberger and Pierce, 2002; Littell *et al.*, 2000). Para este análisis se consideró al ambiente como una combinación de la localidad y el año de cultivo. La variable contenido de fosfato fue transformada previamente a valores iguales a 1000 - x, ya que valores bajos de fosfatos están asociados a una mala calidad industrial: según la literatura (Chen y Chou, 1993; Doherty y Rackermann, 2008, 2009; Rein, 2007), la concentración mínima de fosfatos solubles en el jugo de caña debe ser de 250 mg/l para que la clarificación sea satisfactoria. De esta forma, valores negativos de BLUPs y más alejados de 0 implican genotipos con buena aptitud industrial según los componentes no-azúcares. Las variables analizadas fueron estandarizadas previo ajuste del modelo. El ajuste del modelo se realizó con PROC MIXED, SAS (SAS Institute, 2016).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores mínimos, máximos y de desvío estándar observados en genotipos de caña de azúcar con respecto a determinaciones asociadas a compuestos no azúcares dan cuenta de la variabilidad del contenido de este tipo de componentes en el jugo de la caña de azúcar (Tabla 2).

**Tabla 2.** Valores medios, mínimos, máximos y coeficiente de variación (CV%) de diferentes compuestos no-azúcares de genotipos de caña de azúcar (n=10) evaluados en un ensayo multiambiente.

Compuestos no azúcares	Media	Mín.	Máx.	CV%.
Almidón (mg/kg°Bx )	2864,4	1138,0	5090,0	27,8
Cenizas (g/100 g)	0,718	0,313	1,456	23,9
Color (U.I.)	10595,2	4281,0	20824,0	27,1
Fenoles (mg/kg°Bx )	1998,1	1134,0	3583,0	22,4
Fosfatos (mg/l)	352,1	138,0	836,0	39,2

Los componentes de varianzas de los efectos aleatorios e interacciones contempladas en el modelo mixto multivariado se observan en la Tabla 3. El efecto genotipo fue significativo según LRT, implicando que existe variabilidad entre variedades cuando se consideran los cinco componentes no azúcares conjuntamente. Las diferencias entre variedades dependen del compuesto no azúcar y del ambiente donde fueron evaluadas (G×E×V significativa). Se destaca, además, que el efecto aleatorio asociado a la muestra fue significativo, lo que sugiere correlaciones entre los componentes no azúcares de una misma muestra.

**Tabla 3.** Componentes de varianzas estimados ( $\sigma^2$ ) a partir de un modelo mixto ajustado en genotipos de caña de azúcar evaluados en múltiples ambientes y para múltiples componentes no azúcares relacionados con la calidad del jugo.

Fuentes de variación	$\sigma^2$	p
Genotipo (G)	0,0646	0,048
Ambiente (E)	0,0000	
Muestra (M)	0,0171	<0,001
Genotipo x Variable (GxV)	0,2159	<0,001
Genotipo x Ambiente (GxE)	0,0000	
Ambiente x Variable (E x V)	0,4228	<0,001
Genotipo x Ambiente x Variable (GxE x V)	0,1598	<0,001
Residual	0,1661	

p= valor de probabilidad de la Prueba de Cociente de Verosimilitud (LRT)

Los predictores genéticos BLUPs fueron considerados como un índice ( $I_c$ ) que define el desempeño de la variedad según el conjunto de componentes no-azúcares. La Tabla 4 presenta los BLUPs del efecto genético ( $I_c$ ) y los de cada variedad según cada variable (predictores de la interacción GxV). Genotipos con valores de  $I_c$  negativos son considerados materiales con buena calidad industrial según los cinco componentes no azúcares, ya que implica contenidos bajos de almidón, cenizas y fenoles, un jugo poco coloreado (valores bajos de U.I.) y un contenido alto de fosfatos. En esta última Tabla se observa que la variedad LCP 85-384 presenta el valor más bajo de  $I_c$  (-0,322), lo que sugiere una destacada aptitud industrial según componentes no azúcares en su jugo, en relación al resto de los genotipos. Los BLUPs derivados de la interacción GxV ponen de manifiesto que el comportamiento destacado se da para todos los componentes no-azúcares. La variedad TUC 95-10 evidenció el valor más alto de  $I_c$  (0,305), seguida por TUCCP 77-42, variedad que mostró también valores elevados de  $I_c$  (0,262). Si se analizan los predictores de la interacción GxV, se puede observar la diferencia de estos dos genotipos en cuanto a cómo fue su comportamiento para cada componente de manera separada, y cómo contribuyeron cada uno de

éstos a una menor aptitud industrial. En el caso de TUC 95-10, si bien presenta un bajo contenido de cenizas, su índice de calidad ( $I_c$ ) se ve afectado principalmente por el elevado contenido de almidón y el color de su jugo. Por el contrario, en TUCCP 77-42, la reducción en la aptitud industrial está determinada fundamentalmente por su alto nivel de cenizas.

El comportamiento opuesto observado entre los dos testigos comerciales (LCP 85-384 y TUCCP 77-42) en cuanto a calidad industrial coincide con estudios previos en los que se analizaron los compuestos no-azúcares de manera independiente (Diez *et al.*, 2000; Zossi *et al.*, 2010, 2011). Por el contrario, la aproximación implementada en este estudio contempla la correlación entre los caracteres. Los BLUPs del efecto genotipo derivan de un modelo donde el vector de variable respuesta considera el conjunto de variables analizadas y donde las correlaciones entre ellas son modeladas en la matriz de varianza y covarianza asociada a un efecto aleatorio de muestra. Según Piepho *et al.* (2008), la metodología *Multivariate* o *Multi-trait BLUP* resulta más ventajosa cuanto más correlacionados están los caracteres.

Malosetti *et al.* (2008) propusieron un modelo mixto *multi-trait* multiambiente, donde considera el efecto de la variable (carácter) dentro del modelo. El objeto de esta aproximación consistió en identificar un eficiente modelo de correlaciones genéticas mediante la imposición de algunas estructuras en la matriz de (co)varianza, para luego incluir información de marcadores moleculares en un modelo más completo. En la aproximación abordada en este trabajo, el objetivo principal es considerar los BLUPs del efecto genotipo como un índice para caracterizar o seleccionar genotipos según los compuestos no-azúcares del jugo. Este índice resulta adecuado para tal fin, ya que contempla las varianzas genéticas y las correlaciones existentes entre las variables en su determinación.

## CONCLUSIONES

El ajuste de un modelo mixto multicarácter y multiambiente permitió generar un índice basado en compuestos no-azúcares, que puede utilizarse como una he-

**Tabla 4.** Predictores lineales insesgados (BLUPs) del efecto genotipo ( $I_c$ ) y de la interacción genotipo por variable obtenidos a partir de un modelo mixto ajustado en variedades de caña de azúcar evaluadas en múltiples ambientes y para diferentes componentes no azúcares relacionados con la calidad del jugo.

Variedad	$I_c$	Almidón	Cenizas	Color	Fenoles	Fosfatos
LCP 85-384	-0,322	-0,252	-0,711	-0,567	-0,012	0,466
RA 87-3	0,123	-0,078	0,139	0,523	-0,066	-0,108
TUC 02-19	-0,111	-0,430	-0,224	-0,152	0,223	0,213
TUC 02-45	-0,008	-0,782	0,309	0,241	0,019	0,188
TUC 02-60	-0,008	-0,398	0,134	0,142	-0,061	0,156
TUC 02-71	-0,208	-0,419	-0,671	0,202	0,085	0,110
TUC 03-1	-0,050	0,576	0,094	-0,447	-0,012	-0,379
TUC 03-22	0,017	0,394	-0,114	-0,025	-0,141	-0,058
TUCCP 77-42	0,262	0,549	1,297	-0,571	-0,084	-0,316
TUC 95-10	0,305	0,840	-0,253	0,655	0,049	-0,273



herramienta para la selección de genotipos con fines de calidad industrial. Este enfoque integró de manera eficiente la información de varios caracteres correlacionados, considerando simultáneamente la variabilidad genética y los efectos del ambiente, lo que posibilita una evaluación más completa de la aptitud industrial de las variedades. Los resultados evidencian diferencias claras entre genotipos; en este sentido, el índice propuesto facilita la identificación de materiales con mejor perfil industrial en etapas tempranas del programa de mejoramiento, optimizando la toma de decisiones y contribuyendo al desarrollo de variedades de caña de azúcar con jugos de mayor pureza y mejor comportamiento en los procesos de clarificación y cristalización.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Clarke, M. A.; R. S. Blanco; M. A. Godshall and B. T. To. 1985. Colour components in sugar refinery processes. In: *Proceedings of the Sugar Industry Technologists* 44: 53-88.
- Chen, J. C. P. and C. C. Chou. 1993. *Cane Sugar Handbook*, 12 ed., Wiley & Sons, pp. 121.
- Covarrubias-Pazarán, G.; B. Schlautman; L. Díaz-García; E. Grygleski; J. Polashock; J. Johnson-Cicales; N. Vorsa; M. Lorzio and J. Zalapa. 2018. Multivariate GBLUP improves accuracy of genomic selection for yield and fruit weight in biparental populations of *Vaccinium macrocarpon* Ait. *Frontiers in Plant Science* 9: 1310.
- Diez, O.; S. Zossi; E. R. Chavanne y G. Cárdenas. 2000. Calidad industrial de las cañas de azúcar de maduración temprana LCP85-384 y LCP85-376 en Tucumán. Análisis de sus principales constituyentes físico-químicos. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 77 (2): 39-48.
- Doherty, W. O. S. and D. W. Rackemann. 2008. Stability of sugarcane juice – a preliminary assessment of the colorimetric method used for phosphate analysis. *Sugar Industry / Zuckerindustrie* 133 (1): 24-30.
- Doherty, W. O. S. and D. W. Rackemann. 2009. Some aspects of calcium phosphate chemistry in sugarcane clarification. *The International Sugar Journal*, 111 (1327): 448-455.
- Duarte-Almeida, J. M.; A. Salatino; M. I. Genovese and F. M. Lajolo. 2011. Phenolic composition and antioxidant activity of culms and sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) products. *Food Chemistry* 125 (2): 660-664.
- Eggleson, G.; B. Montes; A. Monge and D. Guidry. 2006. Optimisation of D-amylase application in raw sugar manufacture. In: *Proceedings of the Sugar Processing Research Conference*, pp. 319-340.
- Falconer, D. S. and T. F. C. Mackay. 1996. *Introduction to quantitative genetics*. Longman Group, Essex, UK.
- Godshall, M. A. 2004. Report on collaborative study of SPRI rapid starch test for raw sugar. In: *Proceedings of ICUMSA Interim Meeting*, Atlanta, pp. 37-41.
- Godshall, M. A. and B. Legendre. 1988. Phenolic content of maturing sugarcane. *International Sugar Journal* 90: 16-19.
- Hogarth, D. and D. Kingston. 1984. The inheritance of ash in juice from sugarcane. *Sugar Cane* 1: 5-9.
- International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (ICUMSA). 2005. *Method book*. Bartens, Berlin, Germany.
- Jackson, P. A.; B. L. Schroeder; A. R. Rattey; A. Wood and M. O'Shea. 2008. Management of ash/impurity ratio in sugarcane: relative effects of genotypes, and N and K fertilizer rates. *Australian Journal of Agricultural Research* 59: 795-801.
- 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.
- Malosetti, M.; J. M. Ribaut; M. Vargas; J. Crossa and F. A. Van Eeuwijk. 2008. A multi-trait multi-environment QTL mixed model with an application to drought and nitrogen stress trials in maize (*Zea mays* L.). *Euphytica* 161(1-2): 241-257.
- Mariotti, J. A.; M. I. Cuenya and M. B. Garcia de Salas. 2001. The performance of families in breeding for quality traits in sugarcane. In: *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists* 24: 495-499.
- Ostengo, S.; M. I. Cuenya; S. Zossi and M. Balzarini. 2019. Relative contribution of genetic and environmental effects on nonsugar compounds of cane juice. In: *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists* 30: 464-469.
- 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.
- Piepho, H. P.; J. Möhring; A. E. Melchinger and A. Büchse. 2008. BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. *Euphytica* 161 (1-2): 209-228.
- Rein, P. 2007. *Cane sugar engineering*. Bartens, Berlin, Germany.
- Rupa, T. R. and S. Asoka. 2008. Effect of rind pigments and juice colorants on juice clarity, settling time, and mud volume of sugarcane. *Sugar Tech* 10: 109-113.
- Schabenberger, O. and F. Pierce. 2002. *Contemporary statistical models for the plant and soil sciences*. CRC Press. Boca Raton, Florida, EEUU.
- SAS Institute Inc. 2016. *SAS University Edition*. Cary, NC, USA.
- Zhou, M.; C. A. Kimbeng; G. Eggleston; J. C. Veremis and K. Gravois. 2007. Prospects of breeding for low starch content in sugarcane. In: *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists* 26: 724-729.
- Zossi, B. S.; M. E. Navarro; N. Sorol; M. Sastre y R. M. Ruiz. 2008. Validación de una metodología para determinar el contenido de almidón en azúcar. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 85 (2): 1-7.
- Zossi, B. S.; G. J. 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. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 87: 15-27.
- Zossi, B. S.; G. J. Cárdenas; N. R. Sorol y M. Sastre.

**2011.** 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). Revista Industrial y Agrícola de Tucumán 88(1): 13-21.

