



Selección fenotípica de tres variedades élites de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) para la producción de panela granulada en la provincia de Bongará (Región Amazonas)

Phenotypic selection of three elite varieties of sugar cane (*Saccharum officinarum* L.) for the production of granulated panela in the province of Bongará (Amazon Region)

José del Carmen Oliva Cruz^{1*}, Mario Oliva Valle² y ³Juan García Gonza¹

RESUMEN

El objetivo de la investigación consistió en realizar una selección y adaptación fenotípica de tres variedades élites de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) para la producción de panela granulada en la provincia de Bongará. Para ello, se eligió un factorial en DBCA, y el esquema seguido en campo fue mediante el uso de nueve variedades, en tres diferentes edades de corte, y en cuatro bloques, formando un total de 27 tratamientos. De las variedades elegidas, tres fueron autóctonas de la zona, y seis introducidas del ámbito nacional e internacional. El área experimental fue instalada en el anexo de Cocachimba a una altitud de 1721 m.s.n.m. Las variedades evaluadas fueron Mex73-523, Amarilla (PR10-59), Carriza (POJ29-61), V74-7, Mex73-1240, Colcamar (CO-421), Mex79-431, H32-8560 y Mex69-290. Las variables que se tuvieron en cuenta para la selección fueron y la administración de los tratamientos fueron: “rendimiento de grados brix (°Bx)”, “biomasa (Tn/Ha)”, y “rendimiento de jugo (Kg jugo/100 Kg de caña)”. Se obtuvieron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, para los rendimientos de grados brix ($p = 0,000 < 0,05$), biomasa ($p = 0,000 < 0,05$), y jugo ($p = 0,000 < 0,05$), a través de pruebas de análisis de varianza (Prueba ANOVA).

Palabras claves: variedades de caña, grados brix, biomasa, jugo, acidez

ABSTRACT

The goal of the research was to carry out a phenotypic selection and adaptation of three elite varieties of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) for the production of granulated panela in the province of Bongará. For this, a factorial was chosen in DBCA, and the scheme followed in the field was through the use of nine varieties, in three different cutting ages, and in four blocks, forming a total of 27 treatments. Of the varieties selected, three were native to the area, and six introduced from the national and international level. The experimental area was installed in the annex of Cocachimba at an altitude of 1721 m.s.n.m. The evaluated varieties were Mex73-523, Amarilla (PR10-59), Carriza (POJ29-61), V74-7, Mex73-1240, Colcamar (CO-421), Mex79-431, H32-8560 and Mex69-290. The variables that were taken into account for the selection were: "yield of brix degrees (°Bx)", "biomass (Tn/Ha)" and "yield of juice (kg juice/100 kg OF cane)". Significant differences were obtained between treatments, for yields of brix degrees ($p = 0,000 < 0,05$), biomass ($p = 0,000 < 0,05$), and juice ($p = 0,000 < 0,05$), through analysis of variance (ANOVA test).

Key words: cane varieties, brix degrees, biomass, juice, acidity

¹Ingeniero Agrónomo. Asociación de productores agropecuarios de Valera

²Ingeniero Agroindustrial. Empresa Agroindustrias Oliva E-mail: agroliva.123@hotmail.com

³E-mail: jalbertogall1@yahoo.es

*Autor de correspondencia: E-mail: jolic60@hotmail.com

I. INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es un cultivo cuyo centro de origen es Nueva Guinea, desde donde se esparció a Asia, a las islas del Pacífico y posteriormente al mundo conocido de entonces (Alejandre Rosas *et al.*, 2010). Según datos del INEI (2012), el principal productor de caña en el mundo es Brasil, con 721 077 287,00 Tn; a este le siguen países como la India, China, y Tailandia, entre otros, ocupando Perú el puesto 18 en la producción de este cultivo, con 10 368 866,00 Tn. (FAO, 2016). Esta industria es sumamente importante en otros países latinoamericanos como México, donde es una de las actividades económicas más importantes del país, cultivado en hasta 15 estados del mismo (Armida-Alcudia *et al.*, 2011). En cambio, respecto a la producción de azúcar, Perú produce cantidades mucho menores, del orden de 673 287,00 Tn, lo que representa el 6,5% del total de caña producido (INEI, 2012). En cuanto a la producción de panela o azúcar no centrifugada, no existe información estadística del comercio nacional o internacional, debido a que los países productores destinan casi toda su producción a satisfacer las demandas locales, y por consiguiente, no generan excedentes exportables o importables (Álvarez, 2004). La aplicación de agricultura de precisión (AP), percepción remota (PR), Sistemas de información Geográfica (SIG) y sistemas de geoposicionamiento global (GPS) en la producción de caña de azúcar, como cultura semiperenne plantada en grandes áreas, ha sido investigada en numerosos países (Galvao *et al.*, 2005); en este sentido, la concentración de azúcar en la caña depende de la variedad y el estado de madurez (Naranjo, 2008). Las evaluaciones respecto a la concentración de grados brix ($^{\circ}$ Bx), acidez, rendimiento de biomasa y rendimiento de jugo, son parámetros que permiten evaluar las variedades de caña que existen en la actualidad. Así, la concentración de sacarosa en el jugo de caña, se puede calcular determinando la concentración de estos grados brix, el cual es la medida de azúcar en la caña. Por otra parte, el índice de

madurez se obtiene teniendo en cuenta este parámetro, añadiéndole una importancia adicional, mediante la relación entre los grados Brix de la parte apical con los de la base del tallo (Aguilar-Rivera *et al.*, 2012).

El objetivo del presente estudio consistió en realizar una selección fenotípica de tres variedades élites de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) para la producción de panela granulada en la provincia de Bongará, Región Amazonas (Perú).

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El área experimental fue instalada en la localidad de Cocachimba, en el distrito de Valera de la provincia de Bongará (región Amazonas), entre las coordenadas siguientes: 6° 06'46.41 S y 77° 08'59.245 W, a una altitud de 1721 m.s.n.m. (Figura 1). El lugar presenta un clima templado, llegando en el día a temperaturas máximas de 25°C cuando el día es soleado, y a 20° en días nublados; por las noches suele bajar hasta los 15°C (SENAMHI, 2014).

Metodología

El diseño de la investigación elegido fue a través de un factorial en DBCA (Diseño con Bloques Completamente al Azar), para el cual se eligieron cuatro bloques con la finalidad de corregir el factor suelo. De esta manera se garantiza que los resultados sean lo más fidedignos posible. Cabe mencionar que las áreas elegidas para la instalación del proyecto representan el tipo de suelo del distrito en general.

Para el proyecto fueron elegidos nueve variedades de caña, de las cuales tres son autóctonas del área de estudio: Amarilla (PR10-59), Carriza (POJ29-61) y Colcamar (CO-421); mientras que seis son introducidas procedentes del ámbito nacional e internacional: Mex73-523, V74-7, Mex73-1240, Mex79-431, H32-8560 y Mex69-290. Cada variedad fue sembrada en parcelas de 10 m de ancho por 12 m. de largo, usando el método de "chorro continuo", con distanciamientos de dos metros entre surcos.

Las evaluaciones se llevaron a cabo a las edades comprendidas entre 12, 15 y 18 meses. Así, para el

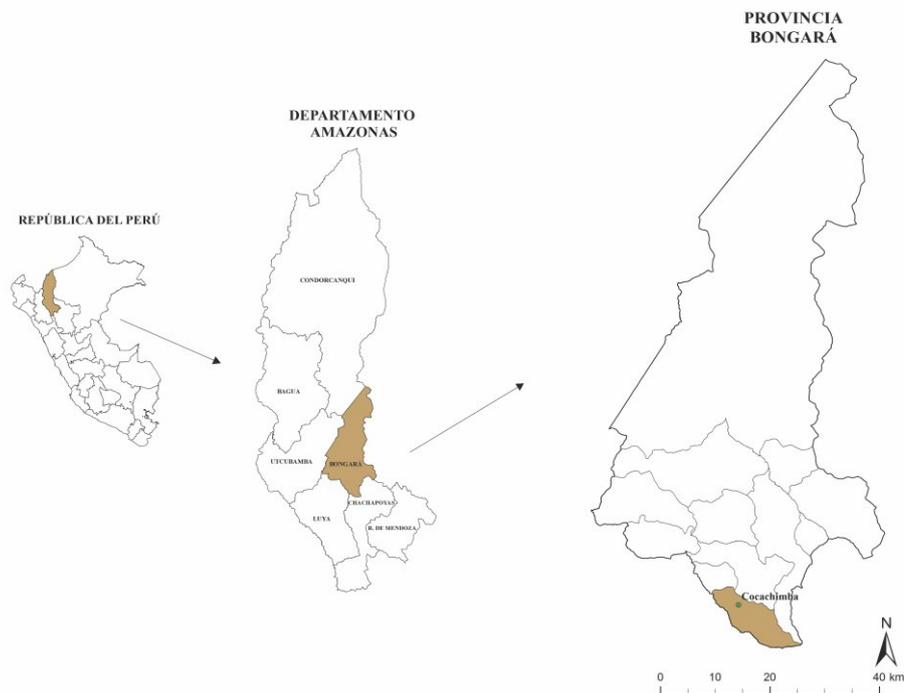


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio en el distrito de Valera

rendimiento de °Bx se hizo uso de un Brixómetro-Refractómetro portátil de 0-80 °Bx. Asimismo, para observar el rendimiento de jugo se pesaron 100 Kg de caña, se extrajo el jugo de la misma haciendo uso de un trapiche eléctrico de doble rodillo, y este jugo obtenido se pesó en una balanza de precisión digital de 150 Kg de capacidad, con 0,1g de repetibilidad (S.D), y 0,2g de linealidad (±). Finalmente, para el rendimiento de biomasa de cortaron cinco metros lineales por repetición, eligiendo el surco al azar.

Análisis de datos

Para realizar el análisis pertinente de cada uno de los tratamientos seleccionados en esta investigación, se utilizó la siguiente fórmula, en la que el modelo aditivo lineal para las variables se describe como:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + V_j + D_k + DV_{ij} + B_l + E_{ijkl}$$

Donde:

T = tratamiento

V = variedad de caña

D = edad de corte

B = bloque

i = 1, 2, ..., 27

j = 1, ..., 9; k = 1, 2, 3

l = 1, 2, 3, 4

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

En el presente estudio se evaluaron 27 tratamientos diferentes, los cuales se describen a continuación, en la Tabla 1.

Los datos de los tratamientos para las variables “rendimiento en grados brix (°Bx)”, “rendimiento de jugo” y “biomasa”, siguen el supuesto de normalidad a partir de la prueba de Kolmogorov-Smirnov ($\alpha = 0,05$). De igual manera, las varianzas para las variables “rendimiento de °Bx” ($p = 0,579 > 0,05$) y “biomasa” ($p = 0,979 > 0,05$) muestran ser iguales. Por el contrario, la variable “rendimiento de jugo” ($p = 0,000 < 0,05$) presenta varianzas diferentes a partir de la prueba de contraste de Levene ($\alpha = 0,05$).

Existe evidencia significativa para afirmar que los

Tabla 1. Tratamientos, variedades y edades

Tratamiento	Variedad	Edades	Tratamiento	Variedad	Edades
T1	Mex73-523	12 meses	T15	Colcamar	15 meses
T2	Amarilla	12 meses	T16	Mex79-431	15 meses
T3	Carriza	12 meses	T17	H32-8560	15 meses
T4	V74-7	12 meses	T18	Mex69-290	15 meses
T5	Mex73-1240	12 meses	T19	Mex73-523	18 meses
T6	Colcamar	12 meses	T20	Amarilla	18 meses
T7	Mex79-431	12 meses	T21	Carriza	18 meses
T8	H32-8560	12 meses	T22	V74-7	18 meses
T9	Mex69-290	12 meses	T23	Mex73-1240	18 meses
T10	Mex73-523	15 meses	T24	Colcamar	18 meses
T11	Amarilla	15 meses	T25	Mex79-431	18 meses
T12	Carriza	15 meses	T26	H32-8560	18 meses
T13	V74-7	15 meses	T27	Mex69-290	18 meses
T14	Mex73-1240	15 meses			

Fuente: Elaboración propia

factores presentan un efecto determinante por tratamiento ($p = 0,000 < \alpha = 0,05$), bloque ($p = 0,000 < \alpha = 0,05$), variedad ($p = 0,000 < \alpha = 0,05$), y edad ($p = 0,000 < \alpha = 0,05$). Sin embargo, no existe efecto de la interacción entre variedad y edad ($p = 0,097 > \alpha = 0,05$) para la variable “rendimiento de °Bx” [Prueba ANOVA; $F(\alpha = 0,05)$].

De igual manera, existe evidencia significativa para afirmar que consta efecto de los factores tratamiento ($p = 0,000 < \alpha = 0,05$), bloque ($p = 0,001 < \alpha = 0,05$), variedad ($p = 0,000 < \alpha = 0,05$), y edad ($p = 0,000 < \alpha = 0,05$). Sin embargo, no existe efecto de la interacción entre variedad y edad ($p = 0,442 > \alpha = 0,05$) para la variable “rendimiento de jugo” [Prueba ANOVA; $F(\alpha = 0,05)$].

Por último, de nuevo vuelve a constar evidencia significativa para afirmar que existe efecto de los factores tratamiento ($p = 0,000 < \alpha = 0,05$); bloque ($p = 0,000 < \alpha = 0,05$), variedad ($p = 0,000 < \alpha = 0,05$), y edad ($p = 0,000 < \alpha = 0,05$). Pero, del mismo modo que anteriormente, no existe efecto de la interacción entre variedad y edad ($p = 0,791 > \alpha = 0,05$) para la variable “rendimiento de biomasa” [Prueba ANOVA; $F(\alpha = 0,05)$].

Para realizar las pruebas de comparaciones múltiples, se eligió la prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) para cada una de las variables evaluadas. La razón por la cual se utilizó esta prueba se debe a que es más exigente en cuanto a la formación de sub grupos al compararla con otras pruebas, y es que el objetivo es exclusivamente

Tabla 2. Valores de las medias, máximos y mínimos por tratamientos en relación a la variable “Bx”.

Tratamiento	Media	Mín.	Máx	Tratamiento	Media	Mín.	Máx
T1	19,5 DEFG	19	20,5	T15	19,8 FGH	19	20,5
T2	17,8 AB	17	18,5	T16	20,3 FGHI	19,5	21
T3	17,8 AB	16,5	18,5	T17	20,5 GHIJ	20,2	21
T4	18,2 ABC	17	19,5	T18	20,4 FGHIJ	20	20,8
T5	18,7 BCD	18	19	T19	21,1 IJ	20,5	21,5
T6	17,5 A	17	18	T20	19,7 DFGH	19	20,5
T7	17,5 A	16	18	T21	20 EFGHI	19,5	20,5
T8	17,6 A	17	18,5	T22	19,1 CDE	18	20
T9	19,3 DEF	19	20	T23	20,6 HIJ	20	21,5
T10	21,45 J	20,5	22,3	T24	20 EFGHI	19,5	20,5
T11	20,3 FGHI	20	20,8	T25	19,6 DFGH	18,5	20
T12	20,2 FGHI	19,8	20,5	T26	20,1 EFGHI	19	20,5
T13	20,2 FGHI	20	21	T27	20,3 FGHI	19,5	21
T14	20,7 HIJ	20,3	21,5				

Fuente: Elaboración propia

Letras iguales significan que no existe diferencia significativa entre las medias de los tratamientos (Prueba de Duncan; $\alpha = 0,05$)

seleccionar tres variedades distintas de caña.

De esta manera, en cuanto al “°Bx”, la variedad que mejor resultado presentó fue la manejada con el T10, con 21,45 (Tabla 2). A continuación le siguen los tratamientos T19 y T23, con 21,1 y 20,6, respectivamente. Según Aguirre (2011), la concentración de °Bx varía entre °11 y °16 a los 12 meses de edad, mientras que Subirós (1998), establece que la concentración de °Bx puede llegar a 19,55 a la edad de 12 meses con la evaluación de tres variedades caña. De igual manera, resaltar que en Solís-Fuentes *et al.* (2010), el valor obtenido en °Bx fue de 17,8, inferior a los mostrados en este estudio.

En otros estudios relacionados (Naranjo, 2008; Silvia *et al.*, 2010) se menciona que la concentración óptima de grados brix (°Bx) puede llegar a 20,92, estableciendo concentraciones de azúcares que oscilan entre el 11,8% y el 20,5%.

Para la variable “rendimiento de biomasa”, el tratamiento que mejores resultados presentó fue el T20, con 154,5 Tn/Ha (Tabla 3). Le siguen los tratamientos T11 y T2, con 134,5 y 129,5 Tn, respectivamente. Naturland (2000) menciona evidencias de variedades altamente productivas, que pueden llegar a 200 Tn de biomasa verde por Ha. Cabe destacar el estudio realizado por Oviedo y Casanova (2013), en el departamento de Lima, donde el rendimiento promedio extraído fue de 130,939 Tn/Ha. Por último, en Serna Cock y Rodríguez de Stouvenel (2005) la cosecha de caña de azúcar en verde generó 30 Tn de biomasa por cada tonelada de caña cosechada, datos muy por debajo de lo expuesto en el presente estudio.

Finalmente, en relación a la variable relacionada con la extracción de jugo, la eficiencia mostrada en la presente investigación queda lejos de cualquiera realizada en empresas industriales del sector, las

Tabla 3. Valores de las medias, máximos y mínimos por tratamientos en relación al rendimiento de biomasa por hectárea

Tratamiento	Media	Mín.	Máx	Tratamiento	Media	Mín.	Máx
T1	96,5 IJK	88,942	104,058	T15	94,5 HIJ	86,942	102,058
T2	129,5 NÑ	121,942	137,058	T16	69 CDE	61,442	76,558
T3	92,5 HIJ	84,942	100,058	T17	57 BC	49,442	64,558
T4	61,5 BCD	53,942	69,058	T18	62,5 BCD	54,942	70,058
T5	61,5 BCD	53,942	69,058	T19	121,5 MN	113,942	129,058
T6	84,5 GHI	76,942	92,058	T20	154,5 P	146,942	162,058
T7	56,5 B	48,942	64,058	T21	122,5 MN	114,942	130,058
T8	44,5 A	36,942	52,058	T22	86,5 GHI	78,942	94,058
T9	52,5 AB	44,942	60,058	T23	91,5 HIJ	83,942	99,058
T10	106,5 KI	98,942	114,058	T24	114,5 IM	106,942	122,058
T11	134,5 Ñ	126,942	142,058	T25	86,5 GHI	78,942	94,058
T12	102,5 JK	94,942	110,058	T26	77 EFG	69,442	84,558
T13	69 CDE	61,442	76,558	T27	82,5 FGH	74,942	90,058
T14	71,5 DEF	63,942	79,058				

Fuente: Elaboración propia

Letras iguales significan que no existe diferencia significativa entre las medias de los tratamientos (Prueba de Duncan; $\alpha = 0,05$)

cuales cuentan con maquinaria adecuada, sofisticada y moderna, para la producción de azúcar. Sin embargo, en este caso, la asociación encargada de procesar la caña, posee exclusivamente un trapiche eléctrico de doble rodillo, el cual ha mostrado su mayor eficiencia en el T8, con un 53,25% (Tabla 4). A continuación se situaron los tratamientos T6, con un 52,5%, y T20, con un 52,00%. Debido a estas limitaciones técnicas surgidas en campo, los resultados obtenidos no se

pueden comparar con otros estudios en los que la metodología y el equipamiento usados se acercan más las mencionadas industrias. Un ejemplo sería el porcentaje obtenido por Silvia *et al.* (2010), donde se registran valores de extracción de hasta un 72,58 % de jugo.

IV. CONCLUSIONES

Para la variable “rendimiento en grados brix (°Bx)”, el

Tabla 4. Valores de las medias, máximos y mínimos por tratamientos en relación al rendimiento de jugo

Tratamiento	Media	Mín.	Máx	Tratamiento	Media	Mín.	Máx
T1	49,25 BCDEF	48	51	T15	49,75 BCDEF	47	52
T2	50,75 BCDEF	48	52	T16	47,7 ABCD	45	50
T3	51,25 BCDEF	49	54	T17	50,05 BCDEF	49	52,2
T4	46,5 AB	46	48	T18	47,25 ABCD	41	50
T5	51,5 CDEF	50	54	T19	49,5 BCDEF	48	52
T6	52,5 EF	50	56	T20	52 DEF	50	54
T7	51,5 CDEF	50	52	T21	49,25 BCDEF	47	52
T8	53,25 F	48	58	T22	43,86 A	43,5	44
T9	48,75 BCDEF	48	50	T23	47,23 ABCD	46	48
T10	48 ABCDE	46	50	T24	46,5 AB	34	52
T11	49,95 BCDEF	48	51,4	T25	49,25 BCDEF	46	53
T12	47,55 ABCD	45	50,2	T26	49,77 BCDEF	48	51,1
T13	43,45 A	40	45,8	T27	49,5 BCDEF	48	52
T14	46,80 ABC	43	48,6				

Fuente: Elaboración propia

Letras iguales significan que no existe diferencia significativa entre las medias de los tratamientos (Prueba de Duncan; $\alpha = 0,05$)

tratamiento T10 fue el más efectivo, seguido del T23 y del T19, con valores por encima de 20 en los tres casos.

En cuanto a “rendimiento de biomasa”, el tratamiento que mostró mayor efectividad fue el T20, seguido del T11 y del T2, con valores por encima de 100 Tn/Ha en los tres casos.

Finalmente, los resultados obtenidos en lo referente a los porcentajes de “extracción de jugo”, no son representativos ni comparables con otros estudios, ya que no se contó para esta investigación con la maquinaria pertinente; sin embargo, incluso mediante el uso de tecnologías más simples, en el tratamiento T8 se superó el 50% de extracción de jugo.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar-Rivera, N., G. Galindo-Mendoza y J. Fortanelli-Martínez. 2012. “Evaluación agroindustrial del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) mediante imágenes SPOT 5 HRV en la Huasteca México. *Revista de la Facultad de Agronomía* 111: 64–74.

Aguirre, M. 2011. *Jugo de caña de azúcar envasado en vidrio*. Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil (Ecuador).

Alejandro Rosas, J. A., M. E. Galindo Tovar, H. E. Lee Espinosa y O. G. Alvarado Gómez. 2010.

“Variabilidad genética en 22 variedades híbridadas de caña de azúcar (*Saccharum* spp. Híbrido)”. *Phyton* 79: 87–94.

Álvarez, A. 2012. *Panela en Estados Unidos, Perfil de producto*. Bogotá (Colombia): Corporación Colombiana Internacional.

Armida-Alcudia, L., O. Ruiz-Rosado, S. Salgado-García, F. Gallardo-López y M. E. Nava-Tablada. 2011. “Socioeconomic and technological factors in sugar cane (*Saccharum officinarum* L.) agroecosystems production in Chontalpa, Tabasco”. *Tropical and subtropical Agroecosystems* 13.

FAO. 2016. *Perspectivas Agrícolas 2015-2024*. Roma (Italia): FAO. Recuperado de: <http://faostat.fao.org>

Galvao, L.S., A.R. Formaggio y D.A. Tisot. 2005. “Discrimination of sugarcane varieties in Southeastern Brazil with EO-1 Hyperion data”. *Remote Sens. Environ.* 94: 523–534.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2012. *Producción de caña de azúcar*. Lima (Perú): INEI. Recuperado de: <http://www.inei.gob.pe>

Naranjo, W. 2008. *Caracterización reológica y térmica de miel de dos variedades de caña*. Tesis de Grado. Universidad Técnica de Ambato. Ambato (Ecuador).

- Naturland. 2000. *Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico*. Berlín (Alemania): Asociación Naturland
- Oviedo, F. y L. Casanova. 2013. *Caña de azúcar. Principales Aspectos de la Cadena Agroproductiva*. Lima (Perú): MINAGRI.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Perú). 2014. *Oficina de estadística*. Lima (Perú): SANMHI. Recuperado de: <http://www.senamhi.gob.pe>
- Serna Cock, L. y A. Rodríguez de Stouvenel, A. 2005. “Economical Production of Lactic Acid Using Sugar Cane Wastes and Juice (*Saccharum officinarum* L.)”. *Agricultura Técnica* 67: 29–38.
- Silvia, B., 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”. *Revista industrial y agrícola de Tucumán* 87: 15–27.
- Solís-Fuentes, J.A., K. Calleja-Zurita y M. del Carmen Durán de Bazúa. 2010. “Desarrollo de jarabes fructosados de caña de azúcar a partir del guarapo”. *Tecnología, Ciencia, Educación* 25: 53–62.
- Surbirós, J. 1998. “Calidad del jugo y contenido de fibra de tres variedades de caña de azúcar en un ciclo de crecimiento”. *Agronomía Costarricense* 22:173–184.