

RECUPERACIÓN DE SACAROSA EN LA COSECHA MECÁNICA EN VERDE DE CAÑA DE AZÚCAR

RECOVERING SUCROSE FROM MECHANICAL HARVESTING OF GREEN SUGAR CANE

César Augusto Maldonado Cevallos¹, María Elizabeth Arteaga García¹

¹ESAI Business School de la Universidad Espíritu Santo (UEES), Km. 2.5 Vía a Samborondón, Samborondón Ecuador.

Contacto: marteagag@uees.edu.ec

RESUMEN

La sacarosa es el producto final del proceso agroindustrial de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y es un factor clave en la planificación de actividades en los ingenios. El resultado de su producción puede verse afectado por varios factores inherentes al tipo de cosecha, y es común que se generen pérdidas debido al tiempo de permanencia de la caña en el campo (TPCC) y la presencia de *Trash*. El propósito de esta investigación fue evaluar las pérdidas de sacarosa en 3 diferentes tipos de cosecha, y establecer qué tipo de cosecha permite disminuir los tiempos de permanencia de la caña en el campo, empleando datos de 27 semanas de cosecha. Para realizar la estimación de sacarosa de la cosecha de caña de azúcar se elaboró un modelo estadístico mediante un análisis de regresión lineal múltiple, en función de las variables TPCC y *Trash*, principales factores de pérdidas de la sacarosa, tomando en cuenta los tres tipos de cosecha del cultivo de caña de azúcar: manual quemada, mecánica quemada y mecánica verde. Se comprobó que la cosecha mecánica de caña en verde es el mejor sistema para recuperar sacarosa, aunque la presencia de *Trash* es alta, es menor el registro de horas de permanencia de la caña en el campo (TPCC), lo que evita su deterioro por efectos bacterianos.

Palabras clave: *Saccharum officinarum* L., ingenios azucareros, *Trash*, Zafra.

ABSTRACT

Sucrose is the final product of the sugar cane (*Saccharum officinarum* L.) agroindustrial process and is a key factor in the sugar mills activities planning. The result of its production can be affected by several factors inherent to the type of harvest, and it is common that losses are generated due to the permanence time of the cane in the field (TPCC) and the presence of *Trash*. The purpose of this investigation was to evaluate the losses of sucrose in 3 different types of harvest, and to establish which type of harvest allows the cane to stay in the field, using data from 27 weeks of harvest. In order to estimate the sucrose of the sugarcane crop, a statistical model was elaborated by means of a multiple linear regression analysis, based on the variables TPCC and *Trash*, the main sucrose loss factors, taking into account the three types of harvest of the sugarcane crop: manual burned, mechanics burned and green mechanics. It was verified that in the mechanical harvest of cane in green is the best system to recover sucrose, although the presence of *Trash* is high, it is less the record of hours of permanence of the cane in the field (TPCC), which prevents its deterioration by bacterial effects.

Keywords: *Saccharum officinarum* L., permanence time, *Trash*, model, sugar mill.



Recibido: 17 de agosto de 2017
 Aceptado: 20 de noviembre de 2017
 ESPAMCIENCIA 8(2): 85-89/2017

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el cultivo de caña de azúcar ha estado limitado en su productividad debido a los niveles tecnológicos empleados para su aprovechamiento. Los mayores productores de caña de azúcar son Brasil e India (FAOSTAT, 2016), concentrando el 66,12% del área sembrada en todo el mundo. Solamente dos países tienen en su totalidad la cosecha mecánica, Australia y Estados Unidos, mientras que en Brasil para el año 2017 se espera que esta represente el 88,8% del área total (Córdova *et al.*, 2014).

En Ecuador existen ocho ingenios azucareros, la mayoría ubicados en la región Costa: San Carlos, Valdez, COAZUCAR, Isabel María, Miguel Ángel y San Juan, y dos en la región Sierra: Ingenio Azucarero del Norte y Monterrey (Garcés *et al.*, 2015). Se cosecharon 113 227 ha, para producción de azúcar y etanol (INEC, 2014), y de acuerdo a Castillo (2015) la producción de caña de azúcar ecuatoriana, en el período 2012-2015, subió de 75 a 90 Toneladas de Caña por Hectárea (TCH), debido a las inversiones que ha realizado el sector azucarero en investigación científica, implementando tecnologías en el campo en el sistema de cosecha y en el uso de nuevas variedades. La industria azucarera ecuatoriana, con la finalidad de incrementar su desarrollo económico, implementó nuevos sistemas de cosecha (Ortiz *et al.*, 2012), introdujo maquinarias de nueva generación para realizar una operación versátil que permita incrementos y manejos de cuotas de molienda eficientes (Galvis, 2010). Por su parte, Zambrano (2014), estableció que en el período 2010-2015, la producción de caña fue en aumento, debido a la siembra de nuevas variedades desarrolladas por el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador (CINCAE) y otras introducidas por los ingenios con mayor potencial de producción y con mayor adaptación a las nuevas condiciones del cambio climático. Se han liberado seis variedades de caña de azúcar: ECU-01 en el 2007, la EC-02 en 2009, la EC-03 y EC-04 en el 2010, la EC-05 y EC-06 en el 2013 y, la EC-07 y EC-08 en el 2016.

Para Castillo (2015), los factores que influyen en la calidad de la caña y la concentración de sacarosa son: las nuevas variedades de caña, calidad de materia prima para su proceso, la fertilización, plagas, enfermedades, la edad del corte, maduración de la caña, el tipo de cosecha, el tiempo de permanencia de la caña en el campo (TPCC), la materia extraña (*Trash*) y los procesos de fábrica. Respecto a la pérdida de sacarosa, se determinaron dos grandes factores: 1) Los que afectan la calidad de la caña antes del corte; relacionados con todas las actividades agrícolas que se realicen en el campo y las variedades que se siembren; y, 2) Los que afectan después del corte, es decir el TPCC y *Trash*

(Larrahondo y Beltrán, 2013).

Las pérdidas de sacarosa y el deterioro de la caña empiezan inmediatamente desde el corte, sea esta caña quemada o en verde; a mayor tiempo que transcurre entre la cosecha y el proceso de fábrica, más se incrementan las pérdidas de sacarosa (Meyer, 2001; Larrahondo y Beltrán, 2012). Singh y Solomon (2003) de Sugar Tech, plantean que se debe desarrollar una operación que permita disminuir las horas de TPCC para evitar las pérdidas de sacarosa por efecto de la actividad microbiana, que tiene mayor incidencia cuando se aplica la cosecha mecánica quemada. Adicionalmente, durante la cosecha es necesario evaluar y determinar el tipo y cantidades de *Trash* que ingresa a fábrica mediante el método de muestreo manual (Cardona, 2006), cuyos niveles difieren dependiendo del tipo de cosecha.

El estudio tuvo como objetivo establecer qué tipo de cosecha permite disminuir los tiempos de permanencia de la caña en el campo y por tanto la recuperación de sacarosa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar la estimación de sacarosa de la cosecha de caña de azúcar se elaboró un modelo estadístico mediante un análisis de regresión lineal múltiple, en función de las variables TPCC y *Trash*, principales factores de pérdidas de la sacarosa, tomando en cuenta los tres tipos de cosecha del cultivo de caña de azúcar: Manual quemada, Mecánica quemada y Mecánica verde (Ecuación 1):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + E \quad (1)$$

Donde:

Y= Sacarosa (%) caña

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = Coeficientes de regresión

X1= *Trash* (%)

X2= TPCC (horas)

E= Error

Para la determinación de los valores de β_0, β_1 , y β_2 se aplicó el método de mínimos cuadrados, con el apoyo del software estadístico SPSS 22.

La población para la estimación de la sacarosa fue de 1845,96 toneladas de caña, que corresponde a 27 semanas que comprende la zafra del año 2014 del Ingenio Valdez. La clasificación de las toneladas de acuerdo al tipo de corte fue: Manual quemada (573,24), mecánica que-

mada (1007,60), y mecánica verde (265,12).

En el cuadro 1 se presentan los datos proporcionados por el Departamento de Aseguramiento de Calidad (DAC), que corresponden a la cosecha de la caña de azúcar entre los meses de junio a diciembre de 2014, con un total de 187 días laborables. Durante ese periodo se realizaron los análisis diarios de *Trash* (material vegetal o mineral que se incorpora durante la cosecha) y de las horas de TPCC para cada tipo de corte, a partir de los reportes del sistema CampoNet. Para este estudio se utilizó como base la sacarosa inicial a la cosecha, en los tres tipos de corte, que correspondió a 14,15% de sacarosa en caña.

Cuadro 1. Ingenio Valdez: Recuperación de sacarosa % caña, porcentaje de *Trash* y TPCC en la zafra 2014

Semana	Sacarosa (%) caña	<i>Trash</i> (%)	TPCC (horas)
1	10,18	9,92	8,3
2	10,63	5,96	24,1
3	10,45	5,08	21,7
4	10,77	5,15	21,7
5	10,78	4,68	21,9
6	10,69	4,74	19,4
7	10,85	5,68	22,3
8	11,07	5,33	22,2
9	11,36	5,66	21,6
10	11,51	5,38	19,7
11	11,94	4,24	19,7
12	11,68	3,80	19,4
13	11,74	4,42	19,1
14	11,97	4,61	21,3
15	11,2	4,20	18,8
16	12,11	4,23	16,3
17	11,74	4,69	18,0
18	11,87	3,77	18,7
19	12,39	3,37	19,5
20	12,58	3,38	19,0
21	12,25	3,80	17,3
22	12,3	3,67	17,2
23	12,13	3,75	16,6
24	12,12	4,02	17,2
25	11,91	4,76	15,9
26	11,52	4,89	13,5
27	11,33	5,44	15,7

Fuente: Departamento de Aseguramiento de Calidad - DAC (2014)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La industria azucarera ecuatoriana, expresó interés en estimar las pérdidas de sacarosa aplicables a los efectos de los TPCC, hasta ser llevada a fábrica. Para el caso de la quema se debe esperar el tiempo que demora la caña en ser quemada hasta el siguiente día en que se procede su corte, puede ser de forma manual o mecánica. La materia extraña (*Trash*), es todo material vegetal o mineral que se incorpora durante la cosecha (hojas, cogollos, ceniza, chupones, caña seca, raíces, tierra). Esta variable se presenta en porcentaje y depende del tipo de cosecha que se realice y las condiciones de caña quemada o verde. En corte mecanizado verde, a diferencia del manual quemado, los niveles de materia extraña son superiores. Las hojas y los cogollos son el principal problema en el proceso de fabricación, para poder implantar planes de acción que ayuden a la toma de decisiones, y mantener una mayor ventaja competitiva en el mercado. El modelo de regresión lineal múltiple, que permite estimar la recuperación de sacarosa % caña, se presenta en el cuadro 2. Tanto el *Trash* como el TCPP son variables significativas en el modelo, el cual tiene un Coeficiente de Determinación de $R^2 = 0,71$.

Cuadro 2. Modelo de regresión lineal múltiple de la variable dependiente: Recuperación de sacarosa % caña

Variable	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	β	Error típico	β		
Constante	15,338	0,609		25,186	0,000
<i>Trash</i>	-,458	0,061	-0,882	-7,574	0,000**
TCPP	-,087	0,024	-0,428	-3,675	0,001**

** $p < 0,01$

A partir del modelo de regresión obtenido se realizó la estimación de recuperación de sacarosa % caña, determinadas en fábrica al momento que ingresa la caña a la molienda con base en las variables TPCC y ME. Las pérdidas de sacarosa % caña disminuyen por cada hora 0,087 unidades, y por cada unidad porcentual de *Trash*, disminuyen 0,458 unidades.

Larrahondo y Beltrán (2004) determinaron que, para el caso de la caña cosechada mecánicamente, el TPCC fue de 17 horas y para la caña cosechada en verde fue de 6,3 horas. En esta investigación se encontró que:

1) En la cosecha manual quemada, la pérdida de sacarosa % caña por TPCC fue de 3,69%, mientras que por *Trash* se perdió el 1,3%. Considerando todas estas pérdidas, la recuperación estimada

de sacarosa en este tipo de cosecha es de 8,8%.

2) En la cosecha mecánica quemada, la estimación de pérdidas de sacarosa % caña, por TPCC fue de 0,74%, mientras que por *Trash* existe una pérdida de 3,51%. Con este tipo de pérdidas se tendría una recuperación estimada de sacarosa del 9,48%, lo que representa un incremento de 7,72% más de sacarosa que la obtenida en la cosecha manual quemada.

3) En la cosecha mecánica verde, la estimación de pérdidas de sacarosa % caña por TPCC fue de 0,06%, mientras que por *Trash* se pierde 3,89%. Asumiendo todas estas pérdidas, con este método de cosecha se tendría una recuperación estimada de sacarosa de 9,74%. Este resultado representa 11,13% más de sacarosa que la obtenida con la cosecha manual quemada (Cuadro 3).

Cuadro 3. Estimación de sacarosa en la producción de azúcar en el año 2014 del Ingenio Valdez

Tipo de Cosecha	Sacarosa inicial (%)	TPCC	Sacarosa-TPCC (%)	Trash (%)	Sacarosa-Trash (%)	Sacarosa perdida en fábrica (%)	Sacarosa estimada (%)
Manual quemada	14,15	42,88	10,46	2,84	12,85	0,30	8,80
Mecánica quemada	14,15	8,58	13,41	7,66	10,64	0,42	9,48
Mecánica verde	14,15	0,67	14,09	8,48	10,26	0,47	9,74

De acuerdo con estos resultados, el impacto de las horas del TPCC, es uno de los factores principales de pérdidas de sacarosa y afecta a los rendimientos finales en fábrica. Al respecto, tomando como base la cosecha mecánica verde que tiene un TPCC de 0,67 horas, comparado con la cosecha manual y la cosecha mecánica quemada existe una diferencia de 42,21 y 7,91 horas, respectivamente. En cuanto al *Trash*, el corte manual quemado presenta 2,84%, el sistema mecánico quemado sube a 4,82%, y el mecánico en verde alcanza 5,64%. Considerando los factores que intervienen en el análisis se determina que el mejor tipo de corte a aplicar es el corte mecánico verde, porque se llega a recuperar 7,26 Kg.Mg⁻¹ de sacarosa en comparación con el corte manual quemado con el que se logra apenas 2,08 Kg.Mg⁻¹. La recuperación de sacarosa en la cosecha verde es superior a los tipos de cosecha manual quemada y mecánica quemada (Larrahondo y Beltrán, 2012), lo que se comprueba con los resultados obtenidos de la aplicación del modelo estadístico de estimación de sacarosa. Este hallazgo permitirá disminuir los altos costos operacionales causados por la baja productividad registrada en los últimos años en el Ingenio Valdez, ya que con la implementación de la cosecha verde, si bien los niveles de *Trash* incrementan, los de TPCC disminuyen radicalmente, evitando el

deterioro de sacarosa por efecto bacteriano (Rodríguez, 2009), lo cual es parte de la responsabilidad de la industria en cuanto al buen manejo de los residuos agrícolas y evitando las quemas.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados de este estudio se obtienen beneficios económicos, agrícolas, sociales y ambientales. En lo económico los ingenios mantienen su productividad y sostenibilidad, por disminución de pérdidas de sacarosa; en lo agrícola se aprovechan los residuos de cosecha (*Trash*) como abonos verdes (materia orgánica), para mantener los nutrientes del suelo. En lo social, el personal de corte puede realizar otras labores que no estén relacionadas al corte de caña, las cuales son mejor remuneradas, tales como mantenimiento de cultivo y del terreno. En lo ambiental, el realizar cosecha mecánica verde fomenta la protección de la biodiversidad y el medio ambiente, ya que se mitigan las emisiones de gases de efecto invernadero, que se producen debido a las quemas de las plantaciones, cumpliéndose con las directrices dadas por el grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (GIECC).

LITERATURA CITADA

- Castillo, R. 2015. Producción de caña de azúcar en la Costa ecuatoriana. Informe Anual 2014 (CINCAE).
- Cardona, J. 2006. Sistema de recepción de caña en fábrica en Colombia. En Foro-Taller Internacional de Cosecha y Transporte de Caña de Azúcar (9-11 de mayo de 2006, Palmira, Colombia).
- Córdova, S., Arévalo, R., Mazairo, R., Ivani, E., Arévalo, L., Chaila, S., y Fustaino, M. 2014. Saccharum spp. in Brazil. A review. Avances en Investigación Agropecuaria. 18(3): 49.

- DAC (Departamento de Aseguramiento de Calidad). 2014. Proyecto ambiental de Cosecha mecanizada en verde. Milagro: Ecuador: Ingenio Valdez.
- FAOSTAT. 2016. Crops data. Obtenido de <http://www.fao.org>.
- Galvis, D. 2010. Los sistemas de corte mecanizado de caña de azúcar. Equipos de cosecha. *Tecnicaña*. 26: 21.
- Garcés, F., Silva, E., Fiallos, F., Valdez, M., y Viteri, I. 2015. Manejo de las principales enfermedades del cultivo de la caña de azúcar en el Ecuador. En Segundo Simposio Fitopatología, Control Biológico e Interacciones Planta-Patógeno (Septiembre 2015, Quito, Ecuador).
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). 2014. Obtenido de Ecuador en cifras: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec>.
- Larrahondo, J., y Beltrán, B. 2004. Una aproximación a la reducción de las pérdidas de sacarosa entre cosecha y molienda en el sector azucarero colombiano. *Serie de Procesos Industriales*. 3: 22.
- _____. 2012. Composición y características químicas de la caña de azúcar y su impacto en el proceso de elaboración del azúcar. Universidad del Valle. 110.
- _____. 2013. Definición y alcances de la alcoquímica: La calidad de las materias primas y su impacto en el proceso alcoquímico. En III Congreso AETA (18-20 de septiembre de 2013, Guayaquil, Ecuador).
- Meyer, E. 2001. The performance of machinery for mechanical harvesting and loading of sugarcane. *Sugar Technologist's Association*. 75: 43.
- Ortiz, H., Salgado, S., Castelán, M., y Córdova, S. 2012. Perspectivas de la cosecha de la caña de azúcar cruda en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4: 767.
- Singh, I., y Solomon, S. 2003. Post-harvest quality loss of sugarcane genotypes under sub-tropical climate: Deterioration of whole stalk and billets. *Sugar Tech*. 5(4): 258.
- Zambrano, A. 2014. Investigaciones del CINCAE aumentan productividad en caña de azúcar. *Revista El Agro*. Obtenido de: <http://www.revistaelagro.com>.