

Pérdidas de azúcar causadas por *Diatraea* spp. en Nueva Concepción, Guatemala

Francisco Badilla F.¹
José Víctor Gómez M.²

RESUMEN. Se evaluó la pérdida de sacarosa provocada por *Diatraea* spp., medida por el rendimiento teórico recuperable (RTR) por cada 1% de entrenudos dañados y el porcentaje de cañas perforadas en las variedades L-7645, CP-731547 y L-6840. Para cada variedad, se realizó un análisis de correlación y regresión entre la intensidad de infestación (II), la infestación (I) y el RTR. Los modelos utilizados fueron: lineal, cuadrático, raíz cuadrada, exponencial y potencial. Los resultados indican que la variable (II) correlacionó negativamente con el rendimiento para las tres variedades estudiadas. En la variedad CP-731547 hubo una correlación negativa ($r = -0,56$), pero no significativa, entre la I y el RTR, siendo que entre la II y el RTR la correlación fue significativa ($r = -0,65$). El modelo que mejor explicó este comportamiento para la II fue el de raíz cuadrada ($R^2 = 0,42$). Para la variedad L-7645 se presentó una correlación negativa ($r = -0,74$), entre la II y el RTR y entre la I y el RTR también fue negativa ($r = -0,70$). El modelo que mejor explicó el comportamiento para la II fue el tipo cuadrático ($R^2 = 0,60$). En la variedad L-6840 se presentó también una correlación negativa entre RTR y la II ($r = -0,74$), siendo que el modelo cuadrático fue el que mejor explicó el comportamiento ($R^2 = 0,71$). Se concluye que hay correlación negativa entre el daño ocasionado por los taladradores y el rendimiento de azúcar, el cual puede ser cuantificado por modelos matemáticos del tipo cuadrático, lineal y raíz cuadrada.

Palabras clave: Caña de azúcar, barrenador, pérdidas de azúcar, *Diatraea* spp.

ABSTRACT. Sugar losses caused by *Diatraea* spp. in Escuintla, Guatemala. The loss of saccharose, produced by the sugar cane borer *Diatraea* spp., was tested in three cane varieties. Indirect measures of loss were evaluated for each sample in infestation and intensity, measured through the theoretical recuperable yield (kg. of sugar/ton of sugar cane). Correlation and regression analyses were carried out between intensity and yield for each variety. The best regression model was selected based on the highest determination coefficient and the highest significance level. The models used were: lineal, quadratic, square root, exponential and potential. In the three researched varieties, infestation and intensity were positively correlated. In the variety CP-731547 there was a negative correlation ($r = -0.56$) between the infestation and the RTR, and between the infestation intensity (II) and the RTR (-0.65). The model that best explained this behavior for the II was the square-root one ($R^2 = 0.42$). For the L-7645 variety, a negative correlation between the II and the RTR was determined ($r = -0.74$); the correlation between the I and the RTR was also negative ($r = -0.70$). The model that best explained the behavior for the II was the quadratic one ($R^2 = 0.60$). In the L-6840, a negative correlation ($r = -0.74$) was determined too between the II and the RTR. The best model was the quadratic one. It was concluded that there is a negative correlation between the damage caused by the sugar cane borer and the sugar yield, which can be determined by mathematical models of the quadratic square root and lineal types.

Key words: Sugar cane, borer, sugar losses, *Diatraea* spp.

Introducción

El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala se extiende a 180000 hectáreas, de las cuales el Ingenio Tierra Buena posee 6000. Este cultivo es de gran relevancia, ya que constituye la segunda fuente de

exportación del país, además de su importancia como generador de empleo. Uno de los factores más limitantes en su producción son los insectos y, dentro de estos, los barrenadores constituyen una plaga grave.

¹ Bioasesoría Internacional, Apartado 737-4005-Belén, Costa Rica franbad@racsa.co.cr

² Ingenio Tierra Buena, Nueva Concepción Escuintla, Guatemala.

Los barrenadores del género *Diatraea*, son una de las plagas más importantes en el cultivo de la caña de azúcar, ya que afectan el contenido de azúcar en los tallos, a causa de la inversión de la sacarosa, debido a la formación de azúcares reductores causados principalmente por el hongo *Colletotrichum falcatum*. Otros daños producidos por los barrenadores son la muerte del meristema apical de los tallos jóvenes y la formación de yemas laterales, así como la quiebra de los tallos molederos; sin embargo, el daño más sustancial es el que se produce en la fábrica, como consecuencia de la disminución de los rendimientos de sacarosa. (Ruiz *et al.* 1968, Alpízar 1983, Terán *et al.* 1983, Villalobos 1986, Valverde y Badilla *et al.* 1991).

Durante mucho tiempo, en el continente Americano se ha utilizado la escala de daño propuesta por Box (1947) y Guagliumi (1972), la cual propone que niveles del 5% de entrenudos perforados, factor conocido como intensidad de infestación (II), es un daño bajo. Recientemente, Flores (1994) ha considerado que una II menor de 10% de los canutos barrenados no causa daños importantes; sin embargo, en ambos casos se trata de consideraciones cualitativas, carentes de un fundamento estadístico o económico que las sostengan. Varios autores han demostrado que estos son valores muy altos, que no pueden ser tomados como umbral económico, razón por la cual es necesario cuantificar este valor para cada país y región en particular (Alpízar 1983, Terán *et al.* 1983, Barba 1985, Badilla *et al.* 1991, Valverde y Badilla 1991, Badilla 1994).

El factor de pérdida de azúcar y la determinación de un umbral económico están influenciados por varios factores, como son la variedad, la especie de barrenador, las condiciones climáticas, el tipo de suelo, el valor del azúcar y el costo de control (Badilla *et al.* 1991). Para poder cuantificar los daños reales de esta plaga, son necesarios estudios detallados sobre pérdidas, que utilicen modelos de correlación y regresión entre las variables cañas perforadas y entrenudos horadados, con la producción de sacarosa (RTR) (Cleare 1932, Mathes *et al.* 1954, David y Ranganathan 1960, Ellis *et al.* 1960, Ruiz *et al.* 1968, Metcalfe 1969, Bido 1981, Barba 1985, Valverde y Badilla 1991). Dichos estudios permitirían valorar el impacto económico de la plaga, así como diseñar estrategias de control. El objetivo de este artículo consiste en estudiar la pérdida de azúcar causada por los taladradores de la caña, utilizando modelos de regresión.

Materiales y métodos

Se determinaron en el campo las medidas indirectas de pérdidas, cuantificadas por las variables porcentaje de cañas dañadas (I) y porcentaje de entrenudos horadados (II). Para determinarlas se tomaron 55 muestras de 10 cañas, en frentes de corte, de las variedades L-7645, CP-731547 y L-6840. En el laboratorio se determinó el RTR expresado como el azúcar 96% pol/t de caña, que teóricamente se puede extraer.

En el campo, cada grupo de 10 cañas fue reunido en categorías: 10 cañas sanas, 1 perforada y 9 sanas, 2 perforadas y 8 sanas, 3 perforadas y 7 sanas, 4 perforadas y 6 sanas, 5 perforadas y 5 sanas, 6 perforadas y 4 sanas, 7 perforadas y 3 sanas, 8 perforadas y 2 sanas, 9 perforadas y 1 sana, y 10 perforadas. Cada muestra se recolectó en el frente de corte, es decir, eran cañas comercialmente maduras, quemadas y sin cogollo. Se realizaron tres repeticiones por muestra. Se determinó la infestación para cada muestra identificada por lote y variedad, la cual se midió de acuerdo con la fórmula:

$$\text{Infestación} = \frac{\text{Nº de cañas perforadas de la muestra}}{\text{Total de cañas de la muestra}} \times 100$$

El porcentaje de intensidad de infestación (conocido como intensidad) se midió contando internamente el número de entrenudos barrenados, así como los entrenudos contiguos a los barrenados cuando presentaron daños por pudrición roja causada por *C. falcatum*. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Intensidad de Infestación} = \frac{\text{Nº de entrenudos barrenados de la muestra}}{\text{Total de entrenudos de la muestra}} \times 100$$

En el laboratorio, las cañas enteras sanas, o seleccionadas infestadas, de cada muestreo se pasaron por una máquina desfibradora. El producto se mezcló en un recipiente metálico, y se colocó en un cilindro para muestrear 500g, los cuales se llevaron a una prensa hidráulica con presión sostenida de 250 kg/cm², durante un minuto, para extraer el jugo. Luego se pesó la torta residual. El jugo, clarificado con acetato de plomo, se utilizó para medir los grados brix, la pureza y el pol. Los grados brix y la pureza se midieron en un hidrómetro y el pol en un polarímetro. Con los grados brix, pureza y pol, se calculó el brix corregido, la sacarosa y el contenido de pol en caña (PCC). Con estos últimos

y la torta residual, se calculó el RTR en kg de azúcar 96% pol/t caña.

Se realizó un análisis de correlación entre el RTR y cada una de las medidas indirectas de pérdida (I e II), en cada variedad.

Los modelos de regresión evaluados fueron:

- Lineal $Y = A + Bx$
- Cuadrático $Y = A + Bx + Cx^2$
- Raíz cuadrada $Y = A + Bx + C \sqrt{x}$
- Potencial $Y = Ax^b$
- Exponencial $Y = AB^x$

El criterio de selección del modelo de mejor ajuste se fundamentó en el nivel de significancia del coeficiente de correlación (r), calculado con la prueba de T (Silveira - Neto *et al.* 1976) y el valor mayor del coeficiente de determinación (R^2). Para realizar los análisis de correlación y regresión, se obtuvieron valores promedio en variable RTR (Y) por cada grupo de datos de infestación (X_1) o intensidad de infestación (X_2). Para el cálculo de kilos de azúcar perdidos por hectárea, se utilizó la fórmula modificada propuesta por Badilla (1994).

$$KAH = FP \times TCH \times II$$

Donde: KAH : Kilos de azúcar/ha.

FP: Factor de pérdida (kg de azúcar/t de caña por 1% de II).

TCH: Toneladas de caña/ha

II: % de entrenudos dañados de la muestra

Los datos obtenidos en el campo (X_1 y X_2) fueron pareados con el RTR (Y) y analizados en un programa de regresiones, con la ayuda de un computador PC.

Resultados y discusión

Variedad CP73-1547

Se observó una correlación positiva altamente significativa ($r = 0,97^{**}$) entre la infestación y la intensidad de infestación. Entre la infestación y RTR, la correlación fue negativa pero no significativa ($r = -0,57^{ns}$). Entre la intensidad de infestación y el rendimiento la correlación fue negativa y significativa al 5% de probabilidad ($r = -0,65^*$), como se muestra en el Cuadro 1.

Para la relación rendimiento sobre la intensidad de infestación, el valor más alto de ajuste fue el del

Cuadro 1. Correlaciones entre las variables I, II y RTR, para la variedad CP 73-1547. Ingenio Tierra Buena, Guatemala. Noviembre de 1994.

Variedad	Variable	Intensidad de infestación (II)	Rendimiento teórico recuperable (RTR)
CP 73-1547	Infestación (I)	0,97 **	- 0,57 ^{ns}
	Intensidad de infestación (II)	-	- 0,65 *

modelo raíz cuadrada, el cual presentó un coeficiente de correlación de $R^2 = 0,4338\%*$, como se presenta en el Cuadro 2.

El modelo de raíz cuadrada encontrado es diferente al lineal reportado por la literatura (Cleare 1932, Villalobos 1986), aunque ya otros autores habían encontrado modelos diferentes al lineal para explicar este comportamiento (Terán *et al.* 1983; Valverde y Badilla 1991).

Cuadro 2. Modelos de regresión obtenidos para las variables II y RTR, para la variedad CP-731547. Ingenio Tierra Buena. Guatemala 1995.

Modelo	Variable (A)	Variable (B)	Variable (C)	R^2
Lineal	88,126160	- 0,329864		0,423831
Cuadrado	86,967970	- 0,305425	- 0,000579	0,423898
Raíz cuadrada	86,436430	- 0,495817	+ 1,228911	0,433865
Exponencial	88,177080	+ 0,995926		0,420017
Potencial	81,948880	- 0,006227		0,103933

El modelo lineal ($R^2 = 0,423831^*$) indicó, por otro lado, que se pierden 0,329864 kilos de azúcar por cada 1% de II. Este no difiere del modelo tipo raíz cuadrada, siendo por tanto útil para valorar los daños ocasionados por el taladrador en esta variedad. El modelo cuadrático también es funcional para explicar la pérdida de azúcar en forma creciente, conforme aumenta el porcentaje de entrenudos dañados, pero en forma desigual, de modo que a medida que aumenta el porcentaje de daño, los niveles de pérdida de azúcar son mayores. Un comportamiento semejante había sido reportado anteriormente por Valverde y Badilla (1991).

Variedad L-7645

Hubo una correlación positiva altamente significativa ($r = 0,98^{**}$) entre la infestación y la intensidad de infestación. La correlación entre el rendimiento y la

infestación fue negativa y altamente significativa ($r = -0,74^{**}$), así como entre el rendimiento y la intensidad de infestación ($r = -0,70^*$) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Correlaciones encontradas entre las variables I, II y RTR para la variedad L-7645. Ingenio Tierra Buena, Guatemala. Noviembre de 1994.

Variedad	Variable	Intensidad de infestación (II)	Rendimiento teórico recuperable (RTR)
L-7645	Infestación (I)	0,98 **	- 0,74 **
	Intensidad de infestación (II)	-	- 0,70 *

La regresión de mejor ajuste para el porcentaje de cañas dañadas y el rendimiento fue la cuadrática, $R^2 = 0,605\%^{**}$. Para la regresión del rendimiento sobre la intensidad de infestación el mejor modelo también fue el cuadrático ($R^2 = 0,515^*$), como se observa en los cuadros 4 y 5.

Cuadro 4. Modelos de regresión obtenidos para las variables de I y RTR, para la variedad L76-45. Ingenio Tierra Buena. 1995.

Modelo	Variable (A)	Variable (B)	Variable (C)	R^2
Lineal	111,7190	-0,174181		0,552506
Cuadrado	108,8145	0,019489	-0,001937	0,605789
Raíz cuadrada	108,558800	-0,304908	+1,499289	0,580160
Exponencial	112,139300	0,998248		0,534219
Potencial	104,259100	-0,006129		0,129513

Cuadro 5. Modelos de regresión obtenidos para la variable II y RTR, para la variedad L76-45. Ingenio Tierra Buena. 1995.

Modelo	Variable (A)	Variable (B)	Variable (C)	R^2
Lineal	111,148300	-0,688838		0,490453
Cuadrado	109,377100	-0,125689	-0,024871	0,515154
Raíz cuadrada	108,925900	-1,111785	+2,308980	0,504614
Exponencial	111,437800	+0,993132		0,468133
Potencial	103,500700	-0,006973		0,13830

Los resultados encontrados para esta variedad demuestran que el modelo cuadrático fue el que mejor explicó los resultados de pérdida de azúcar, tanto para la variable I como para la II. Estos resultados coinciden con los encontrados por Valverde y Badilla (1991), en Costa Rica, para la variedad Pindar. Los autores encontraron que valores pequeños de I e II provocaron leves decrecimientos en el rendimiento (RTR), pero posteriormente, al aumentar los valores

de entrenudos perforados, el RTR disminuyó más fuertemente, hecho similar al ocurrido con la variedad L-7645 en este estudio.

Variedad L - 6840

Se presentó una correlación positiva altamente significativa ($r = 0,96^{**}$) entre la infestación y la intensidad de infestación. Entre la infestación y el RTR la correlación fue significativa ($r = -0,64^*$) al 5%, según la prueba de *T*, mientras que entre la II y el RTR la correlación fue negativa y altamente significativa ($r = -0,74^{**}$) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Correlación entre las variables II y RTR para la variedad L - 6840. Ingenio Tierra Buena, Guatemala, noviembre de 1994.

Variedad	Variable	Intensidad de infestación (II)	Rendimiento teórico recuperable (RTR)
L-6840	Infestación (I)	0,96 **	- 0,64 **
	Intensidad de infestación (II)	-	- 0,74 *

La regresión de mejor ajuste para la variable porcentaje de cañas dañadas fue el modelo cuadrático ($R^2 = 0,85^{**}$) al igual que para la II y el RTR ($R^2 = 0,71^{**}$) (cuadros 7 y 8).

Cuadro 7. Modelos de regresión para las variables I y RTR, para la variedad L-6840 Ingenio Tierra Buena. 1995.

Modelo	Variable (A)	Variable (B)	Variable (C)	R^2
Lineal	121,36770	-0,179609		0,410881
Cuadrado	131,39860	-0,848546	0,006690	0,855370
Raíz cuadrada	133,0617	1,306188	-5,571551	0,678196
Exponencial	121,1728	0,998435		0,403024
Potencial	115,35990	-0,012055		0,473719

Cuadro 8. Modelos de regresión para variables II y RTR para variedad L-6840. Ingenio Tierra Buena. 1995.

Modelo	Variable (A)	Variable (B)	Variable (C)	R^2
Lineal	122,70760	-0,318038		0,549886
Cuadrado	128,45070	-0,930716	0,009552	0,707778
Raíz cuadrada	133,66010	0,262987	-5,352087	0,704997
Exponencial	122,62930	0,997222		0,542520
Potencial	114,93570	-0,012617		0,490698

Para esta variedad, al igual que para la CP - 731547, la II presentó una correlación más alta en relación al RTR, respecto a la I, siendo por tanto la II un

mejor criterio para evaluar las pérdidas de azúcar provocado por los barrenadores. Esto se debe posiblemente a que al abrir las cañas se cuantifica mejor el daño causado por barrenadores, ya que a la perforación se asocian otros organismos como insectos secundarios y hongos, los cuales son responsables de la inversión de la sacarosa a glucosa, con lo cual disminuye la pureza de los jugos, ocasionando cuantiosas pérdidas en la fábrica.

Conclusiones

- La metodología de campo para agrupar los daños, así como los modelos matemáticos utilizados, son eficientes para medir las pérdidas por cada porcentaje de entrenudos perforados de la plaga.
- Los valores de pérdidas de azúcar son diferentes para cada variedad, siendo los modelos cuadrático y raíz cuadrática los que mejor explicaron este comportamiento.
- Los niveles de pérdidas de sacarosa no son constantes, sino que aumentan a medida que se incrementan los niveles de entrenudos perforados.
- Se presentó una correlación negativa entre la infestación, la intensidad de infestación, y el rendimiento teórico recuperable para dos de las tres variedades estudiadas, lo cual muestra el efecto negativo de la especie *Diatraea* spp. sobre el rendimiento de azúcar en el Ingenio Tierra Buena.
- El umbral económico para el control de los barrenadores en el Ingenio Tierra Buena no puede ser considerado como un valor fijo de porcentaje de entrenudos perforados, ya que depende de la variedad, de los rendimientos en toneladas y azúcar, así como del valor del kilo de azúcar y el costo de control.

Agradecimientos

A la Licenciada Emilce Cristina Pérez, Jefe de Laboratorio del Ingenio Tierra Buena, por la ayuda en el análisis de los datos de laboratorio, así como al señor Ovidio Ramírez por el apoyo logístico. Al Ing. Bayardo Lanzas, Gerente de Campo, por el apoyo recibido, así como a la Junta Directiva del Ingenio Tierra Buena por permitir la publicación de estos resultados.

Literatura citada

Alpízar, A. 1983. Evaluación de la incidencia y el daño de los taladradores en tres variedades de caña de azúcar. Práctica Ing. Agr. Santa Clara, San Carlos, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 69 p.

- Box, H. 1952. Informe preliminar sobre los taladradores de la caña de azúcar (*Diatraea* spp.) en Venezuela. (Venezuela) Ministerio Agricultura. 72 p. (Boletín Técnico No. 2).
- Badilla, F; Solís, AI; Alfaro, D. 1991. Control biológico del taladrador de la caña de azúcar *Diatraea* spp. (LEPIDOPTERA:PYRALIDAE) en Costa Rica. Manejo Integrado de Plagas. No. 20-21:39-44.
- Badilla, F. 1994. Especies y evaluación de daños en campo y fábrica ocasionados por *Diatraea* spp. en Costa Rica. In Simposio sobre Manejo Integrado de Plagas de la Caña de Azúcar en Costa Rica (1, 1994, San José, Costa Rica). Resúmenes. p. 1.
- Barba, M. 1985. Metodología para estimar pérdidas por *Diatraea saccharalis* Fab. en el proceso agroindustrial de la caña en Cuba. Revista de la Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba 44(4):18-24.
- Bido, C. 1981. Pérdidas de sacarosa por el ataque del taladrador (*Diatraea saccharalis* F) en la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en la variedad CP-5243. Boletín Técnico El Cañero 10(6):1-21.
- Cleare, LD. 1932. Moth borer damage in relation to sugar cane varieties in British Guiana. Tropical Agriculture 9:264-271.
- David, H; Ranganathan, V. 1960. Variations in juice quality in topborer affected cane. Madras Agricultural Journal 47:201-205.
- Ellis, TO; Rohrig, PE; Argeneaux, G. 1960. Stalk borer damage as affecting available sucrose in Sugarcane. Proceedings International Society of Sugar Cane Technologists 10:924-932.
- Flores, S. 1994. Las plagas de la caña de azúcar en México. México. 350 p.
- Guagliumi, P. 1972. Pragas da cana - de - açúcar. Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro. 622 p. (Coleção Canavieira No 10).
- Mathes, R; Ingram, JW; Charpentier, LJ. 1954. A method for determining losses caused by the Sugar Cane borer. Proceedings International Society of Sugarcane Technologists 8:614-616.
- Metcalf, JR. 1969. The estimation of loss caused by sugar cane moth borer. In Pest of Sugar Cane. Eds. J. R. Williams; J. R. Metcalf; R. W. Mungomery; R. Mathes. New York, Elsevier. p. 61-79.
- Ruiz, MA; Martínez, A; Flores, S. 1968. Statistical estimation of Sugar losses due to borer attack (*Diatraea chilo*). Proceedings International Society of Sugar Technologists 13:1292-1295.
- Silveira-Neto, S; Nakano, O; Barbin, D; Villa Nova, NA. 1976. Manual de ecología dos insectos. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. 419 p.
- Terán, FO; Precetti, AACM; Derneika, O. 1983. Broca da cana de-azúcar, *Diatraea saccharalis*. In Reunião Técnica Agrônômica. Pragas da cultura da cana-de-açúcar. Centro de Tecnologia COPERSUCAR, São Paulo, Brasil. p. 4-15.
- Valverde, LA; Badilla, F. 1991. Pérdidas de azúcar a nivel de fábrica, causados por *Diatraea tabernella* en tres variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en la zona alta de San Carlos, Costa Rica. Manejo Integrado de Plagas. No. 20-21: 61-64.
- Villalobos, E. 1986. Efecto de los taladradores del tallo sobre el rendimiento de azúcar de cuatro variedades de caña en el Ingenio Santa Fé. Práctica Ing. Agr. Santa Clara, San Carlos, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 62 p.