

LA FRESCURA DE LA CAÑA DE AZÚCAR: UN CASO DE ESTUDIO EN TRES INGENIOS DE MÉXICO

SUGAR CANE CUT-TO-CRUSH DELAY: A CASE STUDY IN THREE SUGAR MILLS OF MÉXICO

Oscar L. Palacios-Vélez^{1*}, Enrique Mejía-Sáenz², Luis Piñón-Sosa², Hugo Sánchez-Hernández^{3*}

^{1,2} Postgrado de Hidrociencias, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230. Km. 36.5 Carretera Federal México-Texcoco, Montecillo, Estado de México. (opalacio@colpos.mx).

³ Subsecretaría de Agricultura, SAGARPA. 03310 Avenida Municipio Libre 377. Delegación Benito Juárez. México, Distrito Federal.

RESUMEN

La frescura de la caña de azúcar es el tiempo transcurrido desde la quema o el corte del cultivo hasta que se recibe en los ingenios y es importante reducir este tiempo para evitar la pérdida de sacarosa. Por tanto, se realizó un estudio durante la zafra 2007-2008 en tres ingenios mexicanos: en Zacatepec, Morelos; en Casimiro Castillo, Jalisco; y en Ciudad Valles, San Luis Potosí. Se recopiló la información de la fecha y hora de entrada y salida de camiones, parcela de origen, identificación del camión, etc., lo cual se complementó con entrevistas a transportistas y conteos de camiones. Se elaboró un modelo matemático para analizar la influencia de varios factores que afectan la frescura. Se estableció que: 1) el tiempo de quema-corte-alzado de la caña es el componente más importante del tiempo de frescura (de 14.7 a 22.23 h, o 67 a 84 %); 2) el segundo componente más importante fue el tiempo de espera en batey (de 2.94 a 10.02 h, o 12 a 30 %); 3) el traslado tuvo la menor influencia (de 0.76 a 1.25 h, o 2.3 a 5.84 %); 4) en las parcelas con corte mecanizado y sin quema de la caña, el tiempo de frescura es aproximadamente la mitad que en las parcelas con corte manual; 5) el parque vehicular es excesivo, lo que se refleja en un muy reducido número de viajes que realiza cada unidad (0.8 a 1.63 viajes d^{-1}), lo cual se traduce en un raquítico ingreso para los transportistas.

Palabras clave: frescura de la caña, tiempo del corte a la molienda, corte mecanizado, sistema de transporte.

INTRODUCCIÓN

México produce alrededor de 5 millones de t de azúcar, con un valor de más de 3 mil millones de dólares anuales, lo que

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: marzo, 2011. Aprobado: junio, 2011.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 45: 831-847. 2011.

ABSTRACT

Sugarcane cut-to-crush delay is the time lapse between cutting and reception in the sugar mills. It is important to reduce this time to avoid loss of sucrose. Therefore, this study was conducted during the 2007-2008 harvest in three Mexican sugar mills: Zacatepec, Morelos; Casimiro Castillo, Jalisco; and Ciudad Valles, San Luis Potosí. Information on the date and hour of truck entry and exit, origin of the sugar cane, truck identity, etc., was collected; this was complemented with interviews to truckers and truck counting. A mathematical model was developed to analyze the influence of several factors that affect cut-to-crush delay. It was established that: 1) the time between burning, cutting and pickup was the most important time component in cut-to-crush delay (14.7 to 22.23 h, or 67 to 84 %); 2) the second most important component was the waiting time at the mill (2.94 to 10.02 h, or 12 to 30 %); 3) transport to the mill had the least influence (0.76 to 1.25 h, or 2.3 to 5.84 %); 4) in the fields where cutting is mechanized and the cane leaves were not burned off, delay time was approximately half that in the fields where cutting was done manually; 5) the number of vehicles is excessive, that is, the number of trips made by each truck is very small (0.8 to 1.63 trips d^{-1}), which translates into paltry incomes for the truckers.

Key words: cut-to-crush delay, cutting to milling time, mechanized cutting, transport system.

INTRODUCTION

México produces around 5 million t of sugar yearly worth more than 3 billion dollars, nearly 12 % of the value of the primary sector production. Moreover, *per capita* consumption is almost 48 kg $year^{-1}$. Sugar cane is produced on 664 thousand ha, supplying 57 mills in 15 sugar-

representa cerca del 12 % del valor del sector primario; además el consumo per cápita es cercano a 48 kg año⁻¹. La producción de caña se realiza en 664 mil ha que abastecen a 57 ingenios de 15 estados cañeros. El gobierno federal realiza el Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar (PRONAC) 2007-2012 (PRONAC, 2007) con cuatro estrategias: 1) fortalecer la política comercial, 2) elevar la producción de caña de azúcar, 3) aumentar la producción de azúcar, 4) aumentar la inversión y el empleo. En cada línea estratégica se han definido acciones, cubriendo aspectos productivos en campo, en fábrica, comercialización, etc.

La estrategia 2) comprende 22 acciones y el presente estudio está relacionado con la Acción II.12: disminuir el tiempo de entrega de la caña, cuyos objetivos son una evaluación más precisa de los tiempos de frescura, establecer cuáles son los principales componentes de estos tiempos y hacer recomendaciones para su reducción, para disminuir las pérdidas de sacarosa. Este tiempo es conocido como frescura de la caña y su significado se explica a continuación.

Una forma de estudiar las alternativas para reducir este tiempo de entrega de la caña en los ingenios es mediante la modelación matemática de los procesos involucrados. Higgins *et al.* (2004) señalan que científicamente la optimización de todo el proceso de la producción azucarera es prácticamente imposible. Sin embargo, es viable modelar aspectos aislados para lograr su optimización o mejoramiento. Con esta idea, como se indica en Materiales y Métodos, se elaboró un modelo matemático para simular diferentes escenarios de tiempos de cosecha y de funcionamiento de los ingenios.

El concepto de frescura de la caña

La frescura de la caña es el tiempo transcurrido desde que la caña se quema, antes del corte manual o mecanizado, hasta su entrada a las bandas transportadoras de los ingenios para su procesamiento. Este tiempo se mide en horas y un objetivo prioritario es reducirlo para evitar la pérdida del contenido de sacarosa. Desde la quema o corte de la caña inicia un proceso de degradación que disminuye el contenido de sacarosa, debido a la acción de la enzima invertasa que convierte parte de la sacarosa en glucosa y fructosa. La velocidad de pérdida de sacarosa para cosechas manual y mecanizada, con quema previa o sin

produciendo states. The federal government sponsors the National Program of the Sugar Cane Agroindustry (PRONAC: Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar) 2007-2012 (PRONAC, 2007) which has implemented four strategies: 1) strengthen trade policies, 2) increase sugar cane production, 3) increase sugar production, 4) increase investment and employment. Each strategic line has defined actions that cover productive aspects in the field and factory and commercialization, etc.

Strategy 2) comprises 22 actions, and this study is related to Action II.12: reduce the time of cane delivery, and its objectives are to evaluate more precisely the delay times, to establish which of the components are the most important for the delay times and to make recommendations for reducing this time in order to decrease loss of sucrose. This time is known as cut-to-crush delay time; its significance is explained below.

One way to study the alternatives for reducing sugar cane delivery time is through mathematical modeling of the processes involved. Higgins *et al.* (2004) point out that scientifically optimizing the entire sugar production process is practically impossible. It is, however, feasible to model isolated aspects that can be optimized or improved. With this idea, as indicated in the section Materials and Methods, a mathematical model was developed to simulate different scenarios of harvest and mill functioning times.

The concept sugarcane cut-to-crush delay time

Cut-to-crush delay is the time lapse from burning before manual or mechanized cutting to when the cane enters the conveyer belts in the mill for processing. This time is measured in hours, and a priority objective is to reduce it to avoid losses in sucrose content. From burning or cutting the cane begins a process of degradation that decreases the sucrose content due to the action of the enzyme invertase that converts part of the sucrose into glucose and fructose. The velocity of loss of sucrose for manual and mechanized harvest, with previous burning or without burning, varies 0.018 to 0.7 % of the weight of the cane daily (Larrahondo and Briceño, 2004).

According to PRONAC (2007), the “cut-to-crush delay” is 24 h in 60 % of the cane fields of

quema, varía de 0.018 a 0.7 % de peso de caña por día (Larrahondo y Briceño, 2004).

Según PRONAC (2007), la frescura es 24 h en 60 % de las parcelas de caña del país y 48 h en el 40 % restante. Para mejorar la frescura se estableció como meta que en el 2012 la frescura sea 24 h en 70 % de las parcelas y 48 h en el 30 % restante (PRONAC, 2007). Lo anterior se puede considerar como hipótesis del estudio, mientras que el objetivo fue identificar y analizar los principales componentes de la frescura y generar recomendaciones que permitan reducir el tiempo de frescura y alcanzar las metas del PRONAC.

MATERIALES Y MÉTODOS

Por razones económicas el estudio se realizó sólo en tres de los 57 ingenios que operan en México: Emiliano Zapata (IEZ), de Zacatepec de Hidalgo, Morelos; José María Morelos (IJMM), en Casimiro Castillo, Jalisco; y Plan de San Luis (IPSL), Ciudad Valles, San Luis Potosí. En Resultados y Discusión se presentan y discuten las características relevantes de los ingenios para el presente estudio. La metodología comprendió lo siguiente:

- 1) Revisión de literatura, acopio y depuración de la información proporcionada por los ingenios (Sistemas de Información Geográfica y decenas de miles de datos en hojas de cálculo electrónico, entre otros). El grueso de la información tenía 52 672 registros de entradas y salidas de camiones en el IEZ; 32 147 registros en el IJMM y 45 332 registros en el IPSL. Estos registros incluían identificación del camión y de la parcela de donde procedía la caña; fecha y hora de quema; fecha y hora de entrada (o de salida, una vez descargados); peso del camión, etc. Esta información es fundamental para la planeación, operación y evaluación de todo el proceso productivo, aunque desafortunadamente el formato de datos no se ha estandarizado, lo que dificulta en particular las comparaciones.
- 2) Recolección de información adicional mediante tres tipos de toma de datos de campo:
 - a) Seguimiento en tiempo real del proceso en dos sistemas de cosecha de caña de azúcar: i) caña quemada, donde la caña se quema por lo general el día anterior al corte, entre las 15:00 y las 20:00 h; a las 05:00 h se realiza el corte manual, el cual termina entre 10:00 y 11:00 h, e inmediatamente inicia el alza mecánico de la caña para cargar los camiones; excepcionalmente, se realizan quemas en la mañana lo que reduce el tiempo entre la quema y el corte;

the country and 48 h in the remaining 40 %. To improve the delay, it has been established as a goal for 2012 that the delay be 24 h in 70 % of the fields and 48 h in the remaining 30 % (PRONAC, 2007). This can be considered the hypothesis of study, while the objective was to identify and analyze the main components of cut-to-crush delay time and to generate recommendations that contribute to reducing the delay time to achieve the PRONAC goals.

MATERIALS AND METHODS

For economic reasons, the study was conducted in only three of the 57 mills that operate in Mexico: Emiliano Zapata (IEZ), Zacatepec de Hidalgo, Morelos; José María Morelos (IJMM), in Casimiro Castillo, Jalisco; Plan de San Luis (IPSL), Ciudad Valles, San Luis Potosí. In the section Results and Discussion the relevant characteristics of the mills for this study are presented. The methodology comprised the following actions:

- 1) Review of literature, collection and selection of information provided by the sugar mills (Geographic Information Systems and tens of thousands of data on electronic spread sheets, among others). The bulk of the information registered 52 672 entries and exits of trucks in IEZ; 32 147 registers in IJMM, and 45 332 registers in IPSL. These records contained identification of the truck and the field from which the cane was transported; date and hour of burning; date and hour of entry (or exit, once unloaded); weight of the truck, etc. This information is basic for planning, operation and evaluation of the entire productive process, although, unfortunately, the data format has not been standardized, making it difficult to make comparisons in particular.
- 2) Collection of additional information with three types of field data:
 - a) Real time follow-up of the process in two sugar cane harvest systems: i) burned cane, in which the cane is burned generally the day before cutting, between 15:00 and 20:00 h; at 05:00 h manual cutting is done, ending between 10:00 and 11:00 h; immediately mechanical lifts begin to load the trucks; exceptionally, burning is done in the mornings, reducing the time between burning and cutting; ii) green harvest, when, without previous burning, the sugar cane is cut with a mechanical harvester, which deposits chopped cane into a truck (Salgado *et al.*, 2003), which takes it to the mill where it awaits processing. This was carried

- ii) cosecha en verde, cuando la caña sin quema es cortada directamente por una cosechadora mecanizada la cual deposita la caña troceada en el camión (Salgado *et al.*, 2003), traslado y espera en batey. Esto se efectuó en todas las parcelas analizadas de finales de marzo a principios de mayo del 2008 con el personal residente y vehículos disponibles, registrando las fechas y horas de la quema, el corte, cargado, traslado y espera en batey. Cabe aclarar que las parcelas estudiadas no pretendieron ser una muestra estadística, ya que no era posible garantizar la aleatoriedad porque las parcelas fueron seleccionadas con criterios administrativos, como frente de corte, orden en que se solicitó la autorización para quema (cuando era el caso), etc.
- b) Censo vehicular como información básica para valorar los principales problemas del traslado de caña.
 - c) Conteos de camiones en espera dentro y fuera del batey.
- 3) Análisis y procesamiento de esta información para identificar los principales componentes de la frescura y para generar recomendaciones que permitan disminuir los tiempos de corte a molienda. Del análisis preliminar de la información se estableció que para representar y caracterizar la gran cantidad de datos era indispensable calcular los valores medios de diversas variables, y elaborar histogramas de frecuencias. Debido al cuidadoso análisis de los histogramas no fue necesario usar otros estadísticos (ver la siguiente sección).
 - 4) Elaboración en una hoja de cálculo, de un modelo matemático-determinístico de la frescura como función del número de horas de la jornada de corte y transporte, así como otros datos de operación. El modelo no considera el tiempo de quema y posterior espera al corte, debido a su carácter altamente variable y fuertemente aleatorio. Con el modelo se calcula la frescura teórica, así como el número mínimo requerido de tracto-camiones y el número de contenedores que funcionarán como almacenamiento requerido. El modelo es de uso muy simple y trabaja de la siguiente manera:
 - a) El usuario define cinco datos de entrada: i) la capacidad de molienda diaria del ingenio (t); ii) número de horas de abasto que se desee asegurar; iii) número de horas de la jornada diaria de cosecha y transporte; iv) tiempo promedio de traslado parcela-batey (h) y v) capacidad media de carga de los remolques o contenedores (t).
 - b) Una vez que el usuario proporciona o modifica los datos de entrada, la hoja de cálculo realiza todos los cálculos automáticamente
- out in all of the analyzed fields since the end of March to the beginning of May 2008 with the full-time employees and available vehicles, recording dates and times of burning, cut, load, shipping and waiting at the mill. It should be noted that the fields studied were not intended to be a statistical sample, since it was not possible to guarantee randomness as the fields were selected with administrative criteria, such as “cut fronts”, the order in which authorization for burning (when this was the case) was requested, etc.
- b) Census of vehicles as basic information in evaluating the principal problems in delivery of the sugar cane.
 - c) Truck counts inside and outside the mill grounds.
- 3) Analysis and processing this information to identify the principal components of delay and to generate recommendations that would allow reducing the times between cutting and milling. From a preliminary analysis of the information, it was established that, in order to represent and characterize the large amount of data, it was essential to calculate the mean values of diverse variables and to construct histograms of frequencies. Due to the careful analysis of the histograms, it was not necessary to use other statistics (see the following section).
 - 4) Construction of a spread sheet, of a mathematical-deterministic model of delay as a function of the number of hours in a work day of cutting and transport, as well as other operation data. The model does not consider burning time or the time lapse between burning and cutting because of its highly variable and strongly random character. With the model, theoretical delay is calculated, as well as the minimum number of tractor-trucks required and the number of containers that will function as the required storage. The model is easy to use and works in the following way:
 - a) The user defines five headings for entry data: i) daily milling capacity of the mill (t); ii) number of hours of supply that he wishes to assure; iii) number of hours in a work day of harvesting and transporting; iv) average time for moving the cane from field to mill (h); and v) average load capacity of the trailers or containers (t).
 - b) Once the user has provided or modified the entry data, the spread sheet does all of the calculations automatically.
 - c) The three outputs or results of the model are presented in a box in the upper right corner of the first page: i) theoretical delay with transport (h); ii) minimum number of trucks required (motorized parts); iii) minimum number of trailers required for storage at the mill.

- c) Las tres salidas o resultados del modelo se presentan en un recuadro de la parte superior derecha de la primera hoja: i) frescura teórica con traslado (h); ii) número mínimo de tráilers requerido (partes motoras); iii) número mínimo de remolques para almacenamiento en batey.

El usuario puede variar los parámetros de entrada y observar inmediatamente el resultado generado. El programa funciona con números enteros positivos y números de horas no superiores a 24. (El lector que desee hacer cálculos con el modelo puede solicitarlo al autor responsable de este trabajo)

El estudio se llevó a cabo durante la zafra 2007-2008 por encargo y con financiamiento de la SAGARPA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis integral de los componentes de la frescura

Un análisis de los datos de la literatura revisada, la información proporcionada por los ingenios sobre los procesos en los dos sistemas de cosecha, traslado de la caña desde las parcelas hasta el ingenio, y el tiempo de espera fuera o dentro del batey y de la toma de datos de campo efectuada por el personal que participó en este estudio indicó que pueden considerarse tres componentes principales en la frescura: 1) tiempo de quema-corte-cargado de camiones para el sistema de caña quemada, y corte y cargado en cosecha verde; 2) tiempo de traslado de la caña desde las parcelas al ingenio; 3) tiempo de espera fuera o dentro del batey, hasta el inicio de la molienda.

Una primera estimación cuantitativa de los tres componentes mencionados de la frescura se efectuó con el seguimiento en tiempo real de todo el proceso de la caña, desde la quema en campo hasta su ingreso a los molinos del ingenio. Se estudiaron 449 parcelas (98 para el IEZ, 304 para el IJMM y 47 para el IPSL). Posteriormente, del análisis de la información censal proporcionada por los ingenios se precisaron los valores de la frescura, como se mostrará más adelante.

Los resultados de este seguimiento para el IEZ se resumen en las Figura 1. Resultados análogos (no mostrados) se obtuvieron para los ingenios IJMM e IPSL. En el Cuadro 1 se resumen los resultados de los tres ingenios.

The user can vary the input parameters and immediately observe the results. The program functions with positive whole numbers and number of hours up to 24 h. (The reader who would like to make the calculations with the model may request it from the corresponding author of this paper).

The study was conducted during the 2007-2008 harvest for and funded by SAGARPA.

RESULTS AND DISCUSSION

Integral analysis of the components of cut-to-crush delay

The analysis comprised data from the reviewed literature, information provided by the mills on the processes in the two harvesting systems, transport from sugarcane fields to the mill, the waiting time outside or inside the mill grounds, and the field data collected by the personnel that participated in this study. The results indicate that three main components can be considered in the cut-to-crush delay: 1) burning-cutting-loading time for the sugarcane burning systems, and cutting and loading in the green harvest system; 2) time of transporting sugarcane from the field to the mill; 3) waiting time outside or inside the mill grounds until milling begins.

A first quantitative estimation of the three components of delay mentioned was performed with the real time follow-up of the entire process, from burning the field up to the time milling begins. The study included 449 fields (98 for IEZ, 304 for IJMM and 47 for IPSL). Later, from the analysis of the census information provided by the mills, delay values were made more precise, as will be shown below.

The result of this follow-up for IEZ is summarized in Figure 1. Analogous results (not shown) were obtained for the IJMM and IPSL mills. In Table 1, the results for the three mills are summarized.

As can be seen, the principal component in cut-to-crush delay time is the time spent in the burn-cut-load process (14.66 to 22.23 h, or 67.33 to 84.1 % of the total), followed by the waiting time at the mill (2.94 to 10.02 h, or 12 to 30.36 % of the total delay time). The smallest component was transport time (0.76 to 1.25 h, or 2.31 to 5.84 % of the total delay time). To assess whether these times are reasonable or high, we compared them with those of other

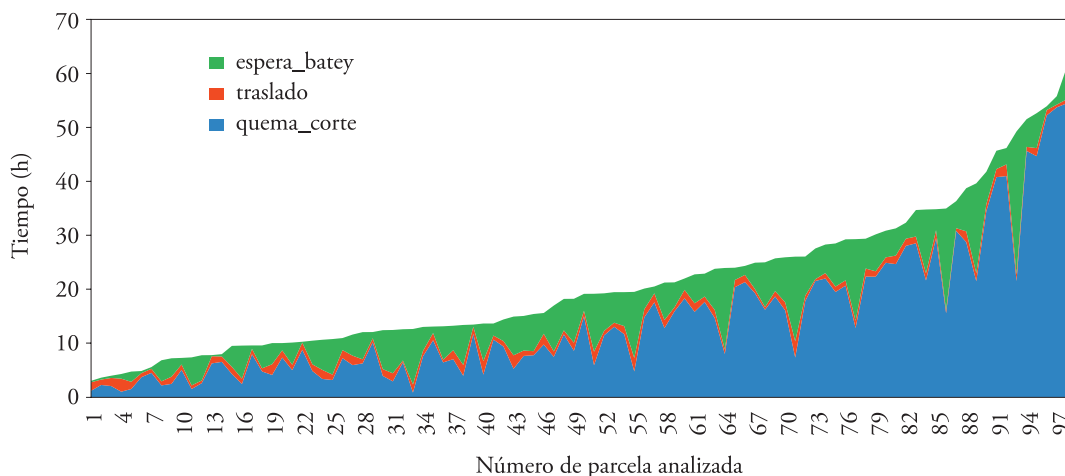


Figura 1. Componentes de frescura en el IEZ.
Figure 1. Cut-to-crush delay components in the IEZ mill.

Cuadro 1. Componentes principales de frescura en tres ingenios.
Table 1. Principal components of cut-to-crush delay in three sugar mills.

Concepto	Ingenio		
	IEZ	IJMM	IPSL
Número de parcelas analizadas	98	304	47
Tiempo medio de quema-corte-cargado (h)	14.7	22.23	20.6
Tiempo medio de quema-corte-cargado (% respecto de la frescura total)	68.7	67.33	84.1
Tiempo medio de traslado parcela-ingenio (h)	1.25	0.76	0.98
Tiempo medio de traslado parcela-ingenio (% respecto de la frescura total)	5.84	2.31	4
Tiempo medio de espera en batey (h)	5.44	10.02	2.94
Tiempo medio de espera en batey (% respecto de la frescura total)	25.4	30.36	12
Frescura total promedio de las parcelas encuestadas (h)	21.4	33.01	24.5

Como puede verse, el principal componente de la frescura es el tiempo de quema-corte-cargado (14.66 a 22.23 h, o 67.33 a 84.1 % del total), seguido por el tiempo de espera en batey (2.94 a 10.02 h, o 12 a 30.36 % del total). El componente menor fue el tiempo de traslado (0.76 a 1.25 h, o 2.31 a 5.84 % de la frescura total). Para valorar si estos tiempos son razonables o elevados, se compararon con los de otros países, de preferencia con mejor tecnología. De Australia, que junto con Colombia tiene los rendimientos de caña más elevados, se obtuvo información del ingenio de Maryboroug y se hizo una serie de comparaciones, usando información de las publicaciones mencionadas en el análisis siguiente. En el Cuadro 2 se presenta un resumen comparativo de los principales datos del ingenio australiano y de los ingenios

countries, preferable countries with more advanced technology. Australia, together with Colombia, has the highest sugarcane yields. Thus information was obtained from the Maryboroug mill (Australia) and a series of comparisons were made, using information taken from the publications mentioned in the following analysis. Table 2 presents a comparative summary of the principal data from the Australian mill and those of the Mexican mills in this study. Compared to the mexican mills, the Australian mill is in an intermediate position. This information will be commented in this section.

Referring to Australia, Higgins and Davies (2005) and Higgins (2006) report that there are 30 mills, and a typical mill processes around 1.5 million t year⁻¹, from a supply zone of 15 000 ha and 300 farms with areas of 50 to 75 ha. There

Cuadro 2 Características de los ingenios estudiados.
Table 2. Characteristics of the sugar mills studied.

Característica	Ingenio			
	IEZ	IJMM	IPSL	Maryboroug (Australia)
Molienda anual (t)	1 226 163	560 248	1 099 491	850 000
Superficie de abastecimiento (ha)	11 273	8221	16 169	12 000
Días de zafra	174	157	204	120
Molienda diaria promedio (t d ⁻¹)	7047	3568	5389	7083
Número de cosechadoras	8	11	17	20
Número de camiones y/o tracto-camiones	377	126	477	18
Número de contenedores	No disp.	No disp.	No disp.	180
Tiempo medio de traslado parcela-batey (min)	75	45	59	57
Tiempo medio de espera en batey (h)	5.4	10	2.9	0.67
Frescura media (h)	26.9	27.5	37.2	3

mexicanos estudiados. El ingenio australiano ocupa una posición intermedia con respecto a los ingenios mexicanos. Esta información será comentada en esta sección.

Respecto a Australia Higgins y Davies (2005) y Higgins (2006) señalan que hay 30 ingenios y un ingenio típico muele alrededor de 1.5 millones t año⁻¹, con una zona de abastecimiento de 15 000 ha y 300 granjas con una superficie de 50 a 75 ha. Hay 15 a 100 cosechadoras por ingenio (promedio, 30 cosechadoras). Alrededor del 80 % de la caña es transportada por tren y en cada ingenio hay una red propia de trenes de vía angosta con 8-12 ramales. La distancia media de recorrido es de 25 km y la frescura no debe exceder 15 h, aunque el promedio en Australia es alrededor de 9 h (pero en el ingenio de Maryboroug el tiempo medio de frescura es sólo 3 h; Cuadro 2). Además, en la mayoría de los ingenios australianos la cosecha se efectúa sólo durante el día, mientras que el ingenio y el transporte operan de manera continua. Para acomodarse a la cosecha de día se cumplen hasta 16 h de almacenamiento de caña en contenedores; la cosecha y el transporte están propensos a interrupciones por lluvias y descomposturas que pueden conducir a una falta de caña en el molino, lo cual resultaría en un costoso paro.

Tanto en Australia como en México la cosecha de un ingenio se programa para realizarse simultáneamente en los diferentes frentes de corte, constituidos por las asociaciones de productores. En las subsecuentes secciones se analizan los tres componentes

are 15 to 100 harvesters per mill (30 harvesters on average). Around 80 % of the sugarcane is transported by train and each mill has its own network of narrow-gauge trains with 8-12 branch lines. The mean distance of a run is 25 km, and the cut-to-crush delay should not exceed 15 h, although the average in Australia is 9 h (the average cut-to-crush delay in Maryboroug is only 3 h; Table 2). Furthermore, in most of the Australian mills, the cane is harvested only during the day, while the mill and transport operate continuously. To coordinate with the daytime harvest, the sugarcane is stored up to 16 h in containers; harvest and transport are often subject to interruptions because of rains and breakdowns that may lead to a lack of cane for milling, which could be a costly stoppage.

Both in Australia and in México, harvest is programmed to be done simultaneously in different fronts, constituted by producer associations. In the following sections, the three major components of cut-to-crush delay are analyzed, and the manner in which their respective times could be reduced is given.

Burning-cutting-truck loading for the sugarcane burning system, and cutting and loading in the green harvest system

As was mentioned in the comment to Figure 1 and Table 1, the principal component in cut-to-crush delay in Mexican mills is the time spent in burning-cutting-and truck loading for the cane burning system, and for the green harvest system

principales de la frescura y las maneras en que pueden reducirse los tiempos respectivos.

Quema-corte-cargado de camiones para el sistema de caña quemada, y corte y cargado en cosecha verde

Como se mencionó al comentar la Figura 1 y el Cuadro 1, el principal componente de frescura en los ingenios mexicanos es el tiempo de quema-corte-cargado de camiones para el sistema de caña quemada, y corte y cargado en cosecha verde. Sin embargo este componente no puede ser comparado con la situación del ingenio en Australia donde no se quema la caña y se corta en verde con cosechadora mecanizada, lo cual reduce considerablemente los tiempos desde que la caña se corta hasta que inicia su proceso en los ingenios y que, según Higgins (2006), el valor promedio es sólo 9 h.

Respecto de éste y de los otros componentes de la frescura cabe indicar que los ingenios estudiados tiene un registro computarizado de todas las entradas y salidas de camiones al batey, con datos de la identificación del camión y de la parcela de donde procede la caña, fecha y hora de quema, fecha y hora de entrada (o de salida, una vez descargados), peso, etc. En Materiales y Métodos se indicó que esta información es fundamental para la planeación, operación y evaluación de todo el proceso productivo, aunque el procedimiento no se ha estandarizado. Una observación importante es que el dato reportado de frescura hace pensar que es un dato capturado, y no el resultado del cálculo de la diferencia de tiempo entre la fecha y hora de quema y la fecha y hora de salida del camión del batey (cuando puede suponerse que ha empezado el procesamiento de la caña). Esto se comprobó al construir el histograma de las frescuras reportadas (no calculadas) en el ingenio IPSL (Figura 2).

En la Figura 2 se observa la desproporcionada frecuencia de frescuras en el intervalo de clase de 0 a 6 h; más exactamente de la frescura de 6 h, de la cual se identificaron 6869 datos registrados. Sería muy difícil explicar esta anomalía como una simple fluctuación aleatoria. En la Figura 3C se presenta el histograma construido con datos de frescura calculada en este estudio, como la diferencia de dos fechas, donde puede verse una distribución más regular de datos. Dado que se trata de un dato fundamental para

it is cutting and loading. However, this component cannot be compared with the Australian situation where the sugarcane is not burned: it is cut green with a mechanical harvester, which considerably reduces the times from cutting to initial processing in the mills, where, according to Higgins (2006), the average delay is only 9 h.

It should be noted that, with this and the other components of delay, the mills studied have a computerized record of all of the trucks that enter and exit the mill, together with identification data of each truck and the field from which the cane is transported to the mill, date and hour of burning, date and hour of entry (or exit, once unloaded), weight, etc. In the section Materials and Methods we indicated that this information is basic for planning, operation and evaluation of the entire productive process, although the procedure has not been standardized. One important observation is that the data on reported cut-to-crush delay makes one think that it is simply captured data and not the result of calculating the difference in time between date and hour of burning and day and hour of the truck exiting the mill (when it can be assumed that sugarcane processing has begun). This was confirmed when constructing the histogram of reported (not calculated) cut-to-crush delay in IPSL (Figure 2).

Figure 2 shows the disproportionate frequencies of delays in the class interval of 0 to 6 h; more

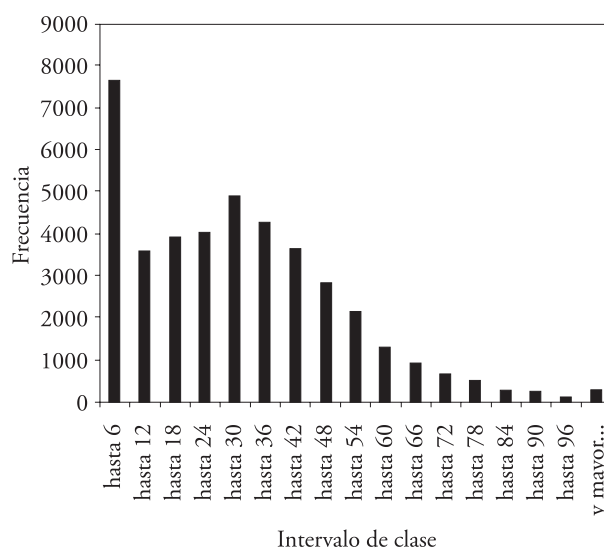


Figura 2. Histograma de frescura registrada en el IPSL
Figure 2. Histogram of cut-to-crush delay registered in the IPSL mill.

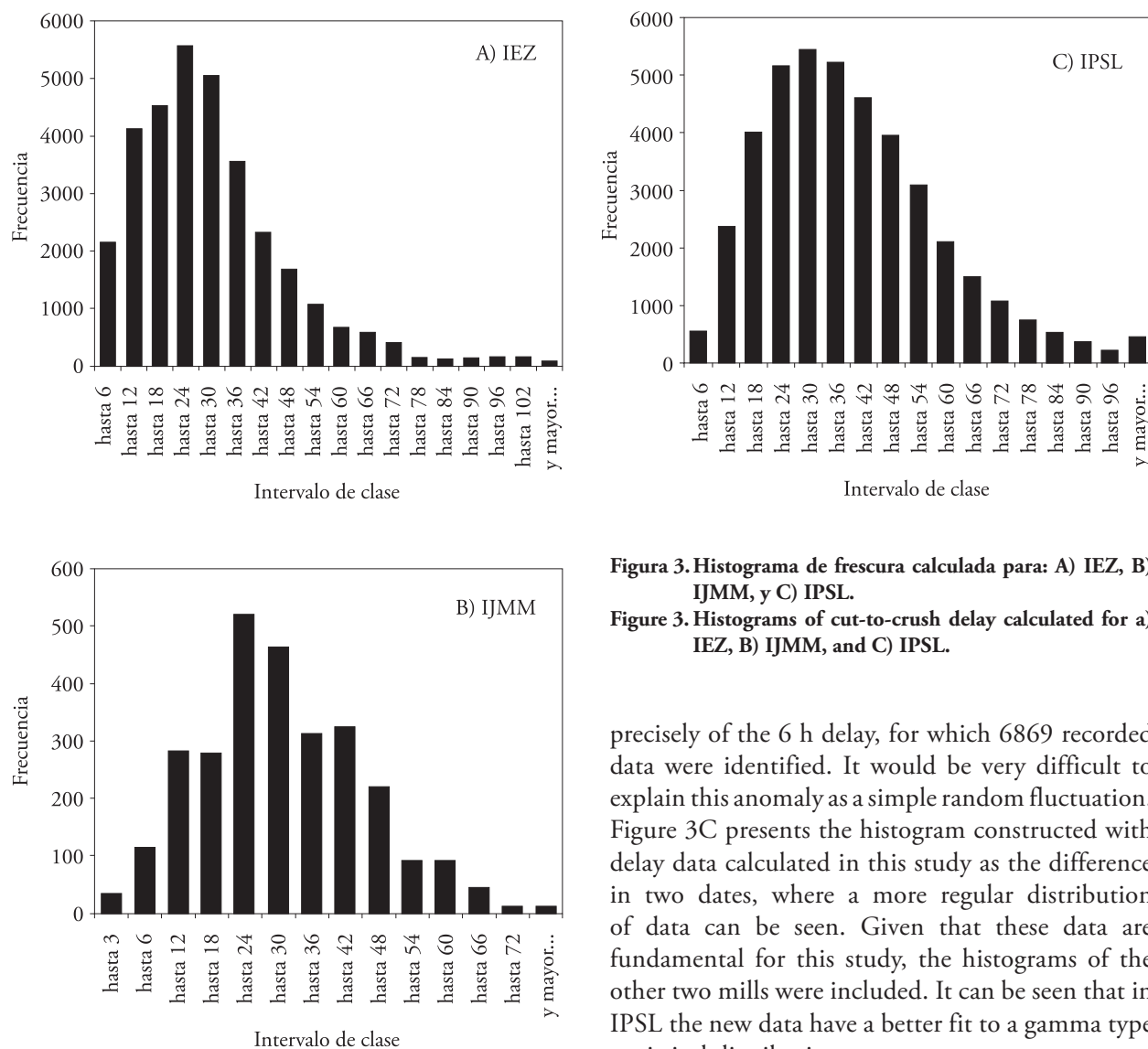


Figura 3. Histograma de frescura calculada para: A) IEZ, B) IJMM, y C) IPSL.

Figure 3. Histograms of cut-to-crush delay calculated for a) IEZ, B) IJMM, and C) IPSL.

este estudio, en la Figura 3 se han incluido también los histogramas de los otros dos ingenios. Puede verse que en el IPSL los nuevos datos se ajustan mejor a una distribución estadística tipo gama.

Los histogramas de la Figura 3 muestran que el PRONAC simplifica mucho la realidad al considerar que 60 % de las parcelas tienen una frescura de 24 h y el 40 % restante 48 h. Pero llama la atención que en los tres ingenios estudiados la frescura modal se ubica entre 24 y 30 h, valores cercanos a lo supuesto en el PRONAC.

Estadísticamente los histogramas de la Figura 3 son muy robustos pues se construyeron con una cantidad considerable de información. Como se señaló en Materiales y Métodos, para el IEZ se evaluaron y

precisely of the 6 h delay, for which 6869 recorded data were identified. It would be very difficult to explain this anomaly as a simple random fluctuation. Figure 3C presents the histogram constructed with delay data calculated in this study as the difference in two dates, where a more regular distribution of data can be seen. Given that these data are fundamental for this study, the histograms of the other two mills were included. It can be seen that in IPSL the new data have a better fit to a gamma type statistical distribution.

The histograms in Figure 3 show that the PRONAC simplifies the reality too much considering that 60 % of fields have 24 h cut-to-crush delay, and 48 h the other 40 %. But, it is noticeable that in the three studied mills the modal delay is between 24 and 30 h, values near the assumption in the PRONAC.

The histograms in Figure 3 are very robust since they were constructed with a considerable amount of information. As was pointed out in Materials and Methods, for IEZ 52 672, for IJMM 32 147, and for IPSL 45 332 registers were evaluated and analyzed. Each register referred basically to entry (and exit) of a truck in the area of the mill and contained data that covered truck identification, field of origin, dates of burning, cutting, etc,

analizaron 52 672 registros, para el IJMM 32 147 y para el IPSL 45 332. Cada registro se refiere básicamente a la entrada (y salida) de un camión al área de batey, con datos que abarcan desde la identificación del camión, de la parcela de origen, fechas de quema, corte, etc., incluyendo el peso del camión y la caña (a la entrada) y peso del camión vacío (a la salida de batey). Esta información permitió también calcular la frescura media del área cosechada manualmente y de la cosechada mecánicamente (Cuadro 3), y esta última fue considerablemente menor a la primera. La proporción del área cosechada mecánicamente ha aumentado consistentemente en México y en el 2008 aproximadamente una tercera parte de toda la superficie sembrada de caña se cosechaba mecánicamente.

Estos datos muestran que una forma de reducir el tiempo de frescura es aumentar la proporción del área cosechada mecánicamente, sin menoscabo de algunas consideraciones socio-económicas.

Traslado de la caña desde las parcelas al ingenio

Cronológicamente, el transporte de la caña desde las parcelas hasta el ingenio es la operación subsiguiente a la etapa de quema-corte-cargado en los vehículos. Entonces, el traslado de la caña es el componente de menor influencia en la frescura total, pero su análisis es importante porque el transporte representa alrededor del 15 % de los costos de todo el proceso productivo. Higgins (2006) señala que en el ingenio de Maryborough de Australia el tiempo medio de traslado parcela-ingenio es 57 min en un área de abastecimiento de 12 000 ha, cifra similar a la encontrada en los ingenios estudiados, particularmente en el IEZ, que tiene una superficie de abastecimiento de 11 273 ha y el tiempo medio de traslado fue 75 min.

Un dato del Cuadro 2 que más llama la atención es la diferencia en el número de camiones o tracto-

including, the weight of the truck and sugarcane (entry) and weight of the empty truck (at exit). This information also allowed calculation of the mean delay of the cane from the area harvested manually and of that harvested mechanically (Table 3), which was considerably smaller than the former. The proportion of the area harvested mechanically has increased consistently in México, and in 2008 approximately a third of the total area cultivated under sugarcane was harvested mechanically.

These data show that one way of reducing the cut-to-crush delay is to increase the proportion of the area harvested mechanically, notwithstanding socio-economic considerations.

Sugarcane transport from the field to the mill

Chronologically, transport of sugarcane from fields to mill is the operation following the stage of burning-cutting and loading the vehicles. However, transporting the cane is the component that least affects the total delay, but it is important to analyze this component since transporting cane accounts for around 15 % of the cost of the entire productive process. Higgins (2006) reports that in the Maryborough mill in Australia the mean time for transporting the cane from field to mill is 57 min in a supply area of 12 000 ha; these figures are similar to those found in the mills of this study, particularly in IEZ, which has a supply area of 11 273 ha and mean transport time was 75 min.

One of the data in Table 2 that most calls our attention is the difference in the number of trucks or tractor-trucks: in the Mexican mills studied this number varies from 126 to 477, while the Australian mill reports only 18 tractor-trucks, complemented with 180 containers. Although in the Mexican mills more containers in use have been observed, no reliable information was found that would serve in the

Cuadro 3. Frescuras calculadas con los datos de los ingenios.

Table 3. Cut-to-crush delays calculated with data provided by the sugar mills.

Concepto	Ingenio		
	IEZ	IJMM	IPSL
Frescura media general (h)	25.06	21.46	35.85
Frescura del área cosechada manualmente (h)	27.23	32.64	41.83
Frescura del área cosechada mecánicamente (h)	14.00	14.19	27.89

camiones, porque en los ingenios mexicanos estudiados este número varía de 126 a 477, en el ingenio australiano sólo hay 18 tracto-camiones complementados con 180 contenedores. Aunque en los ingenios mexicanos cada vez se observan más carretas en uso, no se encontró una información confiable que sirviera de comparación. Las fuentes consultadas no daban más datos sobre los tracto-camiones australianos, pero puede suponerse sería equipo nuevo, o casi nuevo en muy buen estado de funcionamiento. Para valorar la situación en los ingenios mexicanos se efectuó un censo vehicular y en el Cuadro 4 se presenta un resumen de los datos más relevantes.

El número total de vehículos (de 126 en el IJMM, hasta 477 en el IPSL) origina una densidad de camiones que varía de 15 a más de 30 por cada mil ha de la superficie de abastecimiento de los ingenios. En el ingenio de Maryborough hay sólo 18 tracto-camiones, además de 180 carretas o contenedores con una capacidad media de poco más de 30 t por contenedor; es decir, 1.5 vehículos tractores y 15 contenedores por cada mil ha del área de abastecimiento, cifra similar a la del IJMM, aunque en el ingenio australiano hay 10 contenedores o cajas por cada vehículo tractor. Tal proporción de vehículos tractores y contenedores sugiere que los tracto-camiones están todo el tiempo en movimiento, llevando contenedores cargados con caña hacia el ingenio, o arrastrando contenedores vacíos desde el ingenio hasta las parcelas, lo cual constituye una manera más racional y eficiente de utilizar el parque vehicular.

Una de las razones de la diferencia en el número de vehículos puede ser que en Australia el costo anual de operación de un tráiler es AU\$120 000

comparación. The sources consulted do not give more data on the Australian tractor-trucks, but it could be assumed that the authors refer to new equipment or equipment in very good operating conditions. To evaluate the situation in the Mexican mills a census of vehicles was carried out; Table 4 presents a summary of the most relevant data.

The total number of vehicles (from 126 in IJMM to 477 in IPSL) gives a truck density that varies from 15 to more than 30 for every thousand ha of the mills' cane supply area. In the Maryborough mill there are only 18 tractor-trucks, as well as 180 trailers, or containers, with a mean capacity of a little more than 30 t; that is, 1.5 tractor vehicles and 15 containers per thousand ha of supply area, a figure that is similar to that of the IJMM, although the Australian mill has 10 containers, or box trailers, for each tractor vehicle. This proportion of tractor vehicles and containers suggests that the tractor-trucks are in constant movement, taking loaded containers to the mill or pulling empty containers back to the fields, a more rational and efficient manner to use the fleet of vehicles.

One of the reasons for the difference in the number of vehicles could be that in Australia the annual cost of operating a trailer truck is AU\$120 000 (Higgins, 2006), equivalent to \$1 176 000.00 mid-2008 Mexican pesos (exchange rate. 1 AU\$ = 9.8 Mexican pesos). These amounts translate into a mean cost of sugarcane transport of around AU\$4 t⁻¹, equivalent to \$39.2 Mexican pesos, or 15 % of the total costs of production. This is more than what is paid in México, although the percentage of the total costs of production is similar in both countries.

Cuadro 4. Resumen de los datos del parque vehicular.
Table 4. Summary of the data on the fleet of vehicles.

Concepto	Ingenios		
	IEZ	IJMM	IPSL
Número de camiones	377	126	477
Antigüedad promedio (años)	36.6	28.5	27.6
Capacidad media de carga (t)	16.7	16.3	18.8
Carga promedio por camión y por viaje (t)	23.3	17.4	24.3
Sobrecarga media (t)	6.6	1.1	5.5
Número total de viajes realizados	52 672	32 147	45 332
Número promedio de viajes diarios por camión	0.8	1.63	0.47
Carga promedio por camión durante toda la zafra (t)	3252	4446	2305
Número de camiones por cada 1000 ha del área de abasto	33.44	15.33	29.5

(Higgins, 2006), equivalentes a \$1 176 000.00 pesos mexicanos de mediados de 2008 (tasa de cambio: 1 AUS\$ = 9.8 pesos mexicanos). Estas cantidades se traducen en un costo medio del transporte de caña de alrededor de AU\$4 t⁻¹, equivalentes a \$39.2 pesos mexicanos, lo cual es 15 % del total de los costos de producción, cifra superior a la cantidad pagada en México, aunque el porcentaje con relación al total de los costos de producción es similar en ambos países.

En un análisis más detallado de la rentabilidad teórica de los vehículos en ambos casos, de los datos del Cuadro 2 se deduce que en el ingenio australiano cada tráiler debe transportar diariamente 389 t, a razón de \$40 t⁻¹, por lo que genera \$15 555 diariamente, y para una jornada de 16 h esto significa una rentabilidad cercana a \$972 h⁻¹. Considerando un tiempo de traslado de parcela-batey-parcela de aproximadamente 2 h, más un tiempo medio de espera en batey de 40 min, el tiempo aproximado por viaje es 2.66 h. No se consideran tiempos de llenado porque los contenedores se llenan mientras la parte tractora de los tráiler está en movimiento. Así, en una jornada de 16 h se realizarían alrededor de 16/2.66≈6 viajes diarios. Si la jornada fuera de 12 h se realizaría unos 4.5 viajes diarios.

Como se muestra en el Cuadro 4, en los ingenios mexicanos estudiados la antigüedad media de los camiones es 36.6 años en el IEZ, 28.5 años en el IJMM y 27.6 en el IPSL. La antigüedad media ponderada por el número de camiones para los tres ingenios es 31.2 años. El número promedio de viajes diarios que realiza cada camión es muy reducido: 0.8 en el IEZ, 1.63 en el IJMM y 0.47 en el IPSL. De manera optimista, si cada camión realizara dos viajes por día, transportando 20 t por viaje y recibiendo \$30 t⁻¹, cada camión generaría \$1200 d⁻¹, equivalentes a \$100 h⁻¹, al laborar 12 h diarias. Estas cifras muestran que el transportista de las zonas cañeras mexicanas se conforma con realizar un número muy pequeño de viajes, lo que se refleja en un reducido ingreso para ellos. Además, el gran número de camiones estacionados en batey en todo momento (casi 100 camiones, según una encuesta comentada más adelante), representa una pérdida de \$10 000 h⁻¹ para los dueños de los camiones. Conviene reflexionar si el desinterés en esta pérdida de eficiencia, por los ingenios estudiados se debe a que no son dueños ni co-propietarios de los

In a more detailed analysis of theoretical profitability of the vehicles in both cases, from the data in Table 2, it can be deduced that in the Australian mill each trailer truck should transport 389 t daily, at a cost of \$40 t⁻¹, amounting to \$15 555 daily; for a 16 h workday, this means a profitability of nearly \$972 h⁻¹. Considering a field-mill-field transport time of approximately 2 h, plus a mean waiting time in the mill of 40 min, the approximate time for each trip is 2.66 h. The time for filling the containers is not considered since they are filled while the tractor part of the trailer trucks is moving. Thus, in a 16-hour workday, around 16/2.66≈6 trips are made daily. If the workday were 12 h, the daily number of trips would be 4.5.

As shown in Table 4, in the Mexican mills studied the mean age of the trucks is 36.6 years in IEZ, 28.5 years in IJMM, and 27.6 years in IPSL. The mean truck age, weighted by the number of trucks, for the three mills is 31.2 years. The average number of daily trips made by each truck is very low: 0.8 in IEZ, 1.63 in IJMM, and only 0.47 in IPSL. Optimistically, if each truck made two trips a day, transporting 20 t per trip and paid \$30 t⁻¹, each truck would earn \$1200 d⁻¹, equivalent to \$100 h⁻¹, when it works a 12 h day. These figures show that the truckers in the sugarcane areas of México have resign themselves to a small number of trips, which is reflected in low incomes for the truckers. Moreover, the large number of trucks parked in the mill at all hours (almost 100 trucks, according to a survey, which will be commented below) represents a loss of \$10 000 h⁻¹ for the owners of the trucks. It would be convenient to reflect on whether the mills' lack of interest in this loss of efficiency is due to the fact that they are neither owners nor co-owners of the trucks. In contrast, in the Australian mill, which is the owner of the trucks, this type of inefficiency does not exist.

Waiting times in the mill

The waiting time in the mill (Table 2) constitutes the second most important component of the cut-to-crush delay. In the Mexican mills studied this varies from a little less than 3 h, in IPSL, to as much as 10 h in IJMM, where the trucks are used as temporary storage units but are not paid for

camiones. En cambio, el ingenio australiano es dueño de los camiones y no hay estas ineficiencias.

Tiempos de espera en batey

El tiempo de espera en batey (Cuadro 2) constituye el segundo componente más importante de la frescura. En los ingenios mexicanos estudiados varía de poco menos de 3 h para el IPSL hasta 10 h para el IJMM, ya que los camiones se usan como bodegas temporales pero sin remuneración por este servicio. En cambio, en el ingenio australiano el tiempo medio de espera es sólo 40 min.

Un análisis objetivo de los tiempos de espera en batey, igual que muchas otras líneas de espera, mostraría que este tiempo depende de: 1) la frecuencia de arribo de camiones al ingenio y 2) la cantidad de caña que muele o procesa el ingenio. Al llegar al ingenio más caña de la que se puede moler, se formará una fila de camiones y carretas. Esto sugiere que si se pudiera programar el arribo de camiones y contenedores de acuerdo a la capacidad de molinenda del ingenio, y si la cosecha y el transporte de la caña ocurrieran continuamente 24 h diarias no se formarían filas en el batey y el tiempo de frescura se reduciría drásticamente. Sin embargo, la frecuencia de arribo de camiones es afectada por la duración de la jornada de corte, las fluctuaciones en las cantidades de caña cosechada y las variaciones de los tiempos de traslado de las parcelas al ingenio.

Para los ingenios lo más conveniente es tener una reserva de caña en batey que evite detener los molinos por falta de caña. Sin embargo, una reserva de caña se justifica en los siguientes casos:

- 1) Dado que el corte de caña quemada ocurre sólo cierto número de horas del día, mientras que el ingenio funciona continuamente todo el día, se requiere una reserva de caña para el turno nocturno. Un ingenio típico (García Espinosa, 1975) que muele 6000 t d^{-1} , requerirá una reserva de alrededor de 2000 t para el turno nocturno de 8 h, cuyo almacenamiento necesita el equivalente a 100 contenedores con 20 t de capacidad.
- 2) Para compensar las variaciones aleatorias en la cantidad de caña cosechada y transportada durante el día hacia el ingenio se requiere un almacenamiento de reserva.

this service. In contrast, mean waiting time in the Australian mill is only 40 min.

An objective analysis of waiting times in the mill, like many other waiting lines, would show that the time spent in waiting depends on 1) the frequency with which the trucks arrive at the mill and 2) the milling capacity of the mill. If more sugarcane arrives at the mill than it can process, lines of trucks and trailers start to form. This suggests that if arrival of the trucks at the mill could be programmed in accord with the milling capacity of the mill and if the harvest and transport of the sugarcane were done continuously 24 h a day, lines would not form at the mill and the cut-to-crush delay would decrease drastically. However, the frequency of truck arrival is affected by the duration of the harvesting day, the fluctuations in the amounts of sugarcane harvested and the variations in transport times from the fields to the mill.

For the mills, it is favorable to have a reserve of sugarcane in the mill grounds to avoid stopping the mills for lack of cane. A reserve of sugarcane is justified, however, for the following reasons:

- 1) Since cutting burned cane occurs only during a certain number of hours in the day, while the mill functions continuously throughout the day, a reserve of cane is necessary for the night shift. A typical mill (García Espinosa, 1975) that crushes 6000 t d^{-1} would require a reserve of about 2000 t for an 8-hour night shift, which would require the equivalent of 100 containers with a capacity of 20 t.
- 2) To compensate the random variations in the amount of sugarcane harvested and transported during the day, the mill requires storage of a reserve.
- 3) To quantify the number of trucks waiting outside or inside the mill grounds, the number of trucks waiting during one week in April 2008 was counted. The results of this count for IPSL, which has the highest number of vehicles, are presented in Figure 4. Analogous results were obtained for the other mills, as is commented in the following paragraphs.

The IJMM had fewer trucks parked (mean, 73.98), while in IEZ there were variations of more than 100 vehicles (mean, 106.76) and in IPSL there were more than 170 vehicles (mean, 139.93). These numbers are proportional to the fleet of vehicles of

- 3) Para cuantificar el número de camiones en espera afuera o dentro del batey se realizó un conteo horario del número de camiones en espera durante una semana en abril del 2008. Los resultados de este conteo para el IPSL, que cuenta con el mayor número de vehículos, se presentan en la Figura 4. Resultados análogos se obtuvieron para los otros ingenios, como se comenta a continuación.

El IJMM tuvo menos camiones estacionados (media, 73.98), en el IEZ hubo variaciones superiores a 100 vehículos (media, 106.76) y en el IPSL más de 170 vehículos (media, 139.93). Estas cantidades son proporcionales al parque vehicular en cada ingenio (Cuadro 4) y confirmarían que el parque vehicular es excesivo, pues los camiones en lugar de transportar caña sirven como almacenamiento.

El segundo factor que define los tiempos de espera en batey es la cantidad de molienda real diaria, y este dato varía en relación a la capacidad nominal de molienda de los ingenios. Así, en la Figura 5 se muestra el histograma de la cantidad de caña molida diariamente en el IJMM (datos proporcionados por el ingenio y son de la zafra 2007-2008).

El IJMM reporta una capacidad de molienda de 4000 t d^{-1} , mientras que la molienda diaria promedio fue 3653.9 t d^{-1} . Sin embargo en el histograma

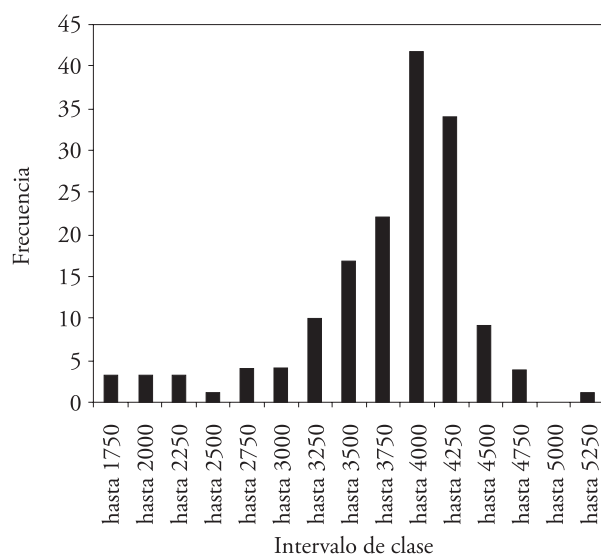


Figura 5. Histograma de molienda diaria en el IJMM, zafra de 2007-2008.

Figure 5. Histogram of daily milling in the IJMM mill, 2007-2008 harvest.

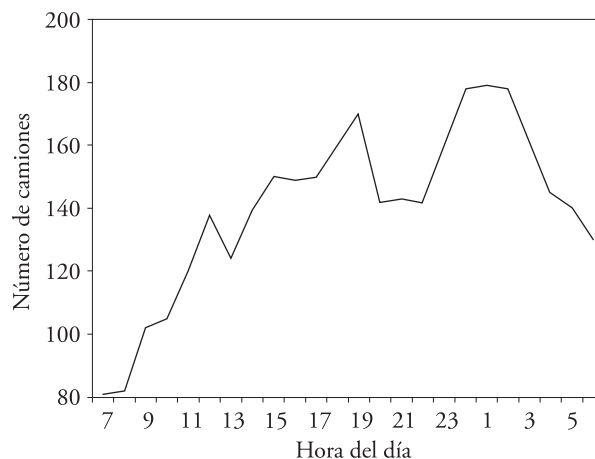


Figura 4. Variación del número de camiones en batey del IPSL.
Figure 4. Variation in number of trucks waiting at the IPSL mill.

each mill (Table 4) and would confirm that the fleet of vehicles is excessive since the trucks serve more as storage containers than as transport.

The second factor that defines the waiting times in the mill is the real quantity of milled sugarcane. It was observed that this datum varies in relation to the nominal milling capacity of the mills. Thus, Figure 5 shows the histogram of the amount of sugarcane milled daily in the IJMM (data provided by the mill correspond to the 2007-2008 harvest).

The IJMM mill reports a milling capacity of 4000 t d^{-1} , while its average daily milling was 3653.9 t d^{-1} . However, in the daily milling histogram it can be observed that on 30 % of the days more sugarcane was milled than the nominal capacity of the mill, although some days less sugarcane is milled than its nominal capacity. These data show the random character of the variable daily milling. According to information published by the Unión Nacional de Cañeros, A. C., CNPR (2011), in the 10 harvests between 2000/01 to 2009/10 in the IJMM 15.6 % of the harvest days on average were lost (minimum 6.64 % in 2007/08 and maximum 24.69 % in 2000/01). This lost time is attributed to factory factors, personnel, holidays, field factors and rain.

Mathematical modeling of the processes harvest-transport-supply

In a spread sheet a mathematical-deterministic model of cut-to-crush delay was developed as a

Cuadro 5. Resultados de la simulación de la frescura para diferentes tiempos de corte y cosecha.
Table 5. Results of the simulation of cut-to-crush delay for different times of cutting and harvest.

Concepto	Número de horas diarias de cosecha y transporte				
	1	8	12	16	24
Frescura teórica	9.33	6.85	5.51	4.19	1
Número mínimo requerido de:					
camiones	300	38	25	19	13
remolques	287	200	150	100	0

de molienda diaria se observa que en 30 % de los días se molió más caña que la capacidad nominal del ingenio, aunque algunos días se muele menos caña que dicha capacidad. Estos datos muestran el carácter aleatorio de la variable molienda diaria. De acuerdo con información publicada por la Unión Nacional de Cañeros, A. C., CNPR (2011) en las 10 zafas de 2000/01 a 2009/10, en el IJMM en promedio se perdió 15.6 % de los días de zafa (mínimo 6.64 % en 2007/08 y máximo 24.69 % en 2000/01). Este tiempo perdido se atribuye a factores de fábrica, personal, días festivos, campo y lluvias.

Modelación matemática de los procesos cosecha-transporte-abasto

En una hoja de cálculo se desarrolló un modelo matemático-determinístico de la frescura, como función del número de horas de la jornada de corte y transporte, así como otros datos de operación. En el Cuadro 5 se resumen los resultados obtenidos para una simulación con los siguientes datos: 1) capacidad de molienda 6000 t d^{-1} ; 2) número de horas de abasto asegurado: 0 h; 3) número de horas diarias de cosecha y transporte: 1, 8, 12, 16 y 24 h; 4) tiempo promedio de traslado parcela-batey: 1 h; 5) capacidad media de carga de los remolques: 20 t.

Si la cosecha y el transporte ocurrieran sólo por 1 h d^{-1} se generaría el máximo tiempo de frescura (9.33 h) y los mayores números de camiones (300) y remolques (287) para almacenamiento de caña, dado que se debe almacenar caña para las siguientes 23 h. Probablemente la jornada mínima real es 8 h, pero sería conviene saber qué sucedería al trabajar más tiempo. Si se cosechara y transportara caña durante 16 h d^{-1} , la frescura teórica sería sólo 4.2 h (no se considera la quema). En este caso sólo se requerirían

function of the number of hours of a workday spent in cutting and transport, as well as other operation data. Table 5 summarizes the results obtained for a simulation with the following data: 1) milling capacity of 6000 t d^{-1} ; 2) number of sure supply hours: 0 h; 3) number of hours daily in harvest and transport: 1, 8, 12, 16 and 24 h; 4) average time of transport from field to mill: 1 h; 5) mean load capacity of the trailers: 20 t.

If harvest and transport occurred only for 1 h d^{-1} , the maximum delay time of 9.33 h is generated, and the highest number of trucks would be 300 and of trailers for storing sugarcane would be 287, given that the cane should be stored for the following 23 h. Probably, the minimum real workday is 8 h, but it would be helpful to know what would happen with a longer workday. If sugarcane were harvested and transported for 16 h d^{-1} , theoretical cut-to-crush delay would be only 4.2 h (burning is not considered). In this case, only 19 tractor vehicles and 100 containers (for the night shift) would be needed. These data are close to those mentioned for the Maryborough mill in Australia. If the workday for sugarcane harvesting and transport were continuous (24 h d^{-1}) the cut-to-crush delay would be only 1 h. This scheme corresponds to the JIT (Just-In-Time) system. The results the model provides can serve as maximum values for cut-to-crush delay.

CONCLUSIONS

The principal component of cut-to-crush delay was burning-cutting-loading time, followed by waiting time at the mill, while smallest component was transport time.

Cut-to-crush delay in the areas harvested manually was twice as long as in those areas harvested

19 vehículos tractores y 100 contenedores para el turno nocturno. Estos datos son cercanos a los mencionados para el ingenio de Maryborough de Australia. Si la jornada de cosecha y transporte de caña fuera continua (24 h d^{-1}) la frescura sería sólo 1 h. Este esquema correspondería al sistema JIT (de las siglas en inglés Just-In-Time). Los resultados del modelo pueden servir como techo de los valores de frescura.

CONCLUSIONES

El principal componente de la frescura fue el tiempo de quema-corte-alzado, seguido por el tiempo de espera en batey, y el componente menor fue el tiempo de traslado.

El tiempo de frescura de las áreas cosechadas manualmente fue dos veces mayor que en las áreas cosechadas mecánicamente. Por eso la forma más efectiva para reducir los tiempos de frescura es aumentando la proporción de áreas cosechadas mecánicamente en verde, lo cual reduce las quemaduras y beneficia al ambiente al reducir la cantidad de CO_2 liberada hacia la atmósfera.

En los ingenios estudiados el número de camiones para el transporte de caña es excesivo. Esto se refleja en el reducido número de viajes que realiza diariamente cada camión, lo que a su vez se traduce en un reducido ingreso para los transportistas.

Los ingenios mexicanos estudiados no son dueños ni co-propietarios de los camiones, por lo que no tienen interés en disminuir el número de camiones estacionados en batey.

La reducción de los tiempos de espera en batey tiene dos componentes: 1) regularización del arribo de camiones al ingenio para una llegada más uniforme durante el día (implica programar mejor las quemaduras y cortes); 2) tomar medidas para asegurar una recepción de caña más uniforme, sin altas y bajas durante toda la jornada de trabajo.

Es conveniente estandarizar el concepto y el formato de los datos que registran los tiempos y movimientos de todas las operaciones relacionadas con el abastecimiento de caña al ingenio.

LITERATURA CITADA

- Higgins, A. J. 2006. Scheduling of road vehicles in sugarcane transport: A case study at an Australian sugar mill. *Eur. J. Operational Res.* 170(3): 987-1000.
- Higgins, A. J., and I. Davies. 2005. A simulation model for capacity planning in sugarcane transport. *Computers and Electronics in Agric.* 47(2): 85-102.
- Higgins, A. J., G. Antony., G. Sandell., I. Davies., D. Prestwidge, and B. Andrew. 2004. A framework for integrating a complex harvesting and transport system for sugar production. *Agric. Systems.* 82(2): 99-115.
- García, E. A. 1975. Manual de Campo en Caña de Azúcar. Comisión Nacional de la Industria Azucarera, Instituto para el Mejoramiento de la Producción Azucarera. México, D. F. 232 p.
- Informe Anual 2007-2008 de Asocaña, Colombia. 76 p.
- Larrahondo A., J. E., y C. O. Briceño B. 2004. Una aproximación a la reducción de las pérdidas de sacarosa entre cosecha y molienda en el sector azucarero colombiano. Cali. Cenicaña. Serie Procesos Industriales, N° 3. 22 p.
- PRONAC. 2007. Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2007-2012. Sagarpa. <http://es.scribd.com/doc/2589453/Programa-Nacional-de-la-Agroindustria-de-la-cana-de-azucar-20072012> (Consulta: marzo, 2011).

mechanically. For this reason, the most effective way of reducing delay times is increasing the proportion of areas harvested green and mechanically, which would also reduce burning and benefit the environment by reducing the amount of CO_2 released into the atmosphere.

In the mills studied, the number of trucks for transporting sugarcane is excessive. This is reflected in the small number of trips a truck makes in a day, which in turn translates into low incomes for the truckers.

The Mexican mills studied are not the owners or co-owners of the trucks, and for this reason, they have no interest in decreasing the number of trucks parked in the mill grounds.

The reduction in waiting times in the mill has two components: 1) regularization of the arrival of trucks at the mill so that they arrive more evenly during the day (implicating better programming of burning and cutting); 2) taking measures to assure more uniform reception of the sugarcane, without highs and lows during the entire workday.

It is recommendable to standardize the headings and format of the data that register times and movements of all the operations related to supply of sugarcane to the mill.

—End of the English version—



Salgado G.S., L. Bucio A., D. Riestra R., y L.C. Lagunes E. 2001.
Caña de azúcar: Hacia un manejo sustentable. Campus
Tabasco-CP-ISPROTAB. H. Cárdenas, Tabasco. 394 p.
Unión Nacional de Cañeros, A. C. – CNPR. 2011. Estadísticas

de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2001-2010,
Ingenio José María Morelos. [http://www.caneros.org.mx/
site_caneros/estadisticas/ingenios/josemariamorelos.pdf](http://www.caneros.org.mx/site_caneros/estadisticas/ingenios/josemariamorelos.pdf)
(Consulta: abril, 2011).