

Sugarcane production in Mexico: In what geographical areas should its use be diversified to avoid a sugar glut?

Luis A. Flores-Cruz¹

José A. García-Salazar^{2*}

María de Jesús Santiago-Cruz¹

Roberto García-Mata¹

Abel Muñoz-Orozco²

Abstract

The constant trade conflicts between Mexico and the U.S. that have hindered sugar exports and led to the accumulation of inventories justify conducting studies that analyze the diversification of sugarcane uses to avoid a sugar glut. In order to determine, from an economic and logistical point of view, the sugar mills in which the diversification of sugarcane use would be most advisable, a spatial equilibrium model was applied to the sugar market in the 2014/15 harvest. The results indicate that by decreasing total sugar production by 10 % (from 5.98 to 5.38 million t), the national area devoted to sugarcane production would be 687.6 thousand ha (12.2 % reduction) and the San Cristóbal, San Nicolás and Plan de Ayala sugar mills located in the states of Veracruz and San Luis Potosí would decrease their sugar production by 276.0, 97.5 and 85.2 thousand t, respectively. The sugarcane area used for sugar production would be reduced by 49.2, 13.0 and 14.5 thousand ha, respectively, at the three aforementioned sugar mills. Considering that the excess supply of sugar lowers prices and the income of producers, it is recommended that the Government promote projects that industrialize the production of sugarcane to obtain products other than sugar; the production of biofuels could be an alternative.

Keywords: Sugarcane, sugar, harvested area, consumption, spatial equilibrium model.

Producción de caña en México: ¿En qué zonas se debería diversificar su uso para evitar excesos de oferta de azúcar?

Resumen

Las constantes controversias comerciales entre México y los EE. UU. que han dificultado las exportaciones de azúcar, y que han originado acumulación de inventarios, justifican la elaboración de estudios que analicen la diversificación de los usos de la caña para evitar excesos de oferta del edulcorante. Para determinar desde el punto de vista económico y logístico, los ingenios en los cuales sería más recomendable la diversificación del uso de la caña, se obtuvo la solución de un modelo de equilibrio espacial aplicado al mercado del azúcar en la zafra 2014/15. Los resultados indican que al disminuir la producción total de azúcar en 10 % (de 5.98 a 5.38 millones de t), la superficie nacional destinada a la producción de caña sería de 687.6 mil ha (12.2 % en reducción) y los ingenios San Cristóbal, San Nicolás y Plan de Ayala ubicados en los estados de Veracruz y San Luis Potosí, disminuirían su producción de azúcar en 276.0, 97.5 y 85.2 mil t, respectivamente. La superficie de caña destinada a la producción de azúcar se reduciría en 49.2, 13.0 y 14.5 mil ha, respectivamente, en los tres ingenios mencionados. Considerando que los excesos de oferta de azúcar disminuyen los precios y el ingreso de los productores, es recomendable que el Gobierno promueva proyectos que industrialicen la producción de caña para obtener productos diferentes al azúcar; la producción de biocombustibles podría ser una alternativa.

Palabras clave: Caña, azúcar, superficie cosechada, consumo, modelo de equilibrio espacial.

Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, ¹Posgrado en Economía,

²Posgrado en Genética, km 36.5 carretera México-Texcoco, Montecillo, Estado de México. C. P. 56230.

*Corresponding author: jsalazar@colpos.mx Tel: 01 595 95 202000 Ext. 1836

Introduction

Due to its economic and social relevance in the countryside, the sugar agroindustry is one of the most important in Mexico. In 2011 this industry generated 440,000 direct jobs in sugarcane production, 490,000 jobs in the transformation phase and 1,270 indirect jobs. Its productive activity was developed in 227 municipalities in 15 states, where 12 million people live and where 11.6 % of the value of primary sector production is generated (SE, 2012).

Sugarcane is the raw material for sugar production, with an average factory yield of 11.16 %. Sugarcane is transformed into sugar in 54 mills established in 15 states. The sugarcane cultivated area is distributed in seven geographical regions of the country: Northwest (Sinaloa and Nayarit), West (Jalisco, Colima and Michoacán), Center (Puebla and Morelos), Northeast (Tamaulipas and San Luis Potosí), Gulf (Veracruz and Tabasco), South (Chiapas and Oaxaca) and in the Peninsula (Campeche and Quintana Roo) (Infocaña-CONADESUCA, 2016).

In the 2014/15 harvest, the sugarcane harvested area was 783.5 thousand ha, from which a production of 53.68 million t was obtained. Among the main states with a sugarcane cultivated area, Veracruz, San Luis Potosí and Jalisco stand out with 41.6, 11.2 and 9.6 % of the national total, respectively (Infocaña-CONADESUCA, 2016).

Data reported by CONADESUCA (2016a) indicate that sugar production in the 2014/15 harvest amounted to 5.98 million t, of which 71.6 % corresponded to standard sugar and 28.4 % to refined sugar. On the demand side, the apparent domestic consumption in the same period was 4.4 million t. Given that the sugar industry in Mexico has the capacity to supply domestic demand and is capable of generating surpluses, 1.58 million tons were exported, mainly to the U.S.

The sugar trade with the U.S. has undergone various changes over time, but it was when NAFTA came into force in 1994 that it became more relevant, as the basis was laid for Mexico to start importing high fructose corn syrup (HFCS), the perfect substitute for sugar. The treaty allowed taking advantage of the low international price of the syrup, causing the substitution of sugar by the American

Introducción

Por su relevancia económica y social en el campo, la agroindustria azucarera es una de las más importantes en México. En el año 2011 esta industria generó 440 mil empleos directos en la producción de caña, 490 mil empleos en la fase de transformación y 1 270 empleos indirectos. Su actividad productiva se desarrolló en 227 municipios de 15 entidades federativas, donde habitan 12 millones de personas y en donde se genera el 11.6 % del valor de la producción del sector primario (SE, 2012).

La caña es la materia prima para la producción de azúcar, con un rendimiento promedio en fábrica de 11.16 %. La caña se transforma en azúcar en 54 ingenios establecidos en 15 estados. La superficie cultivada de caña de azúcar se distribuye en siete regiones geográficas del país: Noroeste (Sinaloa y Nayarit), Occidente (Jalisco, Colima y Michoacán), Centro (Puebla y Morelos), Noreste (Tamaulipas y San Luis Potosí), Golfo (Veracruz y Tabasco), Sur (Chiapas y Oaxaca) y en la Península (Campeche y Quintana Roo) (Infocaña-CONADESUCA, 2016).

En la zafra 2014/15 la superficie cosechada de caña de azúcar fue de 783.5 mil ha de las cuales se obtuvo una producción de 53.68 millones de t. Entre las principales entidades con superficie cultivada de caña, destacan Veracruz, San Luis Potosí y Jalisco con 41.6, 11.2 y 9.6 %, del total nacional, respectivamente (Infocaña-CONADESUCA, 2016).

Datos reportados por CONADESUCA (2016a) indican que en la zafra 2014/15 la producción de azúcar fue de 5.98 millones de t, de la cual 71.6 % correspondió a azúcar estándar y 28.4 % a azúcar refinada. Por el lado de la demanda, el consumo nacional aparente en el mismo periodo fue de 4.4 millones de t. Dado que la industria azucarera en el país cuenta con la capacidad de abastecer la demanda nacional y es capaz de generar excedentes, se exportaron 1.58 millones de toneladas, principalmente a los EE. UU.

El comercio del azúcar con EE. UU. ha sufrido diferentes cambios a lo largo del tiempo, pero fue a partir de la apertura del TLCAN en 1994 que adquiere más relevancia, ya que se sentaron las bases para que México empezara a importar jarabe de maíz de alta fructosa (JMAF), el sustituto perfecto del

syrup in domestic consumption and the export of sugar surpluses.

Since the trade opening agreed upon in the treaty, the sugar industry has been immersed in a trade dispute over sweeteners with the U.S., marked by accusations mainly over dumping and establishment of maximum import quotas (Mexico against U.S. corn syrup and the U.S. against Mexican sugar) (Senado de la República, 2017).

A Suspension Agreement establishing a maximum quota for sugar (derived from sugarcane) exports to the United States was signed in 2014. According to the Official Journal of the Federation (DOF, 2015), this agreement was issued to comply with the Agreement between the Ministry of Economy and the U.S. Department of Commerce through which an investigation targeting subsidies on Mexican sugar was suspended. The agreement included bans on Mexican exports being concentrated during certain times of the year, limited the amount of refined sugar that could enter the U.S. market, and established minimum price mechanisms to avoid undercutting or artificially low prices in that market. This agreement has been detrimental to the domestic industry because sugar shipments to the U.S. have decreased since it came into force. Prior to the agreement, 2.5 million tons were exported in the 2013/2014 harvest compared to 1.48 and 1.2 million tons in the 2014/2015 and 2015/2016 harvests respectively, i.e. exports were reduced by more than 50 %.

The most recent conflict between Mexico and the U.S. occurred in early 2017, when U.S. authorities argued that Mexico could only export 40 % of its allocated quota in the first six months of the cycle, which had not been met by our country. Faced with this situation, Mexico opted to temporarily cancel the previous export permits established in 2014 (Barrera, 2017; La Razón, 2017). An agreement was reached in 2017 in which Mexico reduced refined sugar exports from 53 to 30 %, and increased raw sugar (muscovado) to 70 % of total exports (CONADESUCA, 2017; Rodríguez, 2017).

Given the outlook for the sugar trade with the U.S. and the surplus production in recent harvests, there is a need to enter new markets; however, given the low international sugar prices, the alternatives

azúcar. El tratado permitió aprovechar el bajo precio internacional del jarabe, ocasionando la sustitución en el consumo interno del azúcar por el jarabe estadounidense y exportar los excedentes de azúcar.

A partir de la apertura comercial acordada en el tratado, la industria del azúcar se ha visto inmersa en una disputa comercial por edulcorantes con los EE. UU.; acusaciones principalmente por dumping y establecimiento de cuotas máximas de importación (México contra el jarabe de maíz estadounidense y EE. UU. contra el azúcar mexicano) (Senado de la República, 2017).

En el año 2014 se firmó un Acuerdo de Suspensión que establece un cupo máximo de exportación de azúcar (derivada de caña) a EE. UU. De acuerdo con el Diario Oficial de la Federación (DOF, 2015), dicho convenio se emitió para dar cumplimiento al Acuerdo celebrado entre la Secretaría de Economía y el Departamento de Comercio de los EE. UU., por medio del cual se suspendía la investigación por subvenciones sobre el azúcar de México. El acuerdo incluyó prohibiciones que evitaban que las exportaciones mexicanas se concentraran durante ciertas épocas del año, limitó la cantidad de azúcar refinada que podía ingresar al mercado de EE. UU. y estableció mecanismos de precios mínimos para evitar la sub-cotización o precios bajos de forma artificial en ese mercado. Este acuerdo ha sido perjudicial para la industria nacional pues a partir de que entró en vigor, los envíos de azúcar a EE. UU. han disminuido. Hasta antes del acuerdo, en la zafra 2013/2014 se exportaron 2.5 millones de toneladas en comparación a las zafra 2014/2015 y 2015/2016 en que se exportaron 1.48 y 1.2 millones de toneladas, respectivamente, es decir, las exportaciones se redujeron más de 50 %.

El conflicto más reciente entre México y los EE. UU. sucedió a principios del 2017, cuando autoridades de los EE. UU. argumentaron que México solo podía exportar el 40 % del cupo asignado en los primeros seis meses del ciclo, lo cual no se había cumplido por parte de nuestro país. Ante tal situación, México optó por cancelar temporalmente los permisos previos de exportación establecidos en el 2014 (Barrera, 2017; La Razón, 2017). En junio de 2017 se llega a un acuerdo en el cual México redujo las exportaciones de azúcar refinada de 53 a

proposed in PRONAC (2014) should be considered, such as allocating sugarcane to sustainable biofuel production for the domestic market and for the production of alcohol, other products and by-products, which would take advantage of the high levels of sugarcane production reached. Another alternative would be to use sugarcane as fodder, mainly for cattle.

Several authors have argued that the diversification of sugarcane-derived products is an option that should be considered (Aguilar, 2012; Aguilar, 2014; CONADESUCA 2016c; Senties, Gómez, Valdez, Silva, & Trejo, 2014). In particular, due to the situation that has arisen in the national sugar industry, such as the fall in field and factory productivity, the low international sugar prices, the decrease in domestic consumption due to the substitution of sugar by sucrose, corn syrups and non-caloric sweeteners, and the instability of oil prices, among others.

A diversification opportunity for the Mexican sugar agroindustry to face the current problems is to use sugarcane to produce biofuels, mainly ethanol. Although ethanol production is already carried out in some Mexican mills, it is only produced for use in alcoholic beverages, pharmaceutical products and foodstuffs, and as solvents and industrial reagents, but so far, no solid effort has been made to increase its production as fuel.

Determining the optimal sugarcane acreage for sugar production can help establish policies to control the sugar supply, avoid overproduction, address the U.S. trade situation, and allocate sugarcane overproduction for other uses.

Considering the importance of the sugar industry in our country, and taking into account the overproduction and reduction in exports in recent years, this research aimed to determine the optimal national area for sugarcane production, as well as to identify areas in which the use of sugarcane production should be diversified into other products such as ethanol.

Materials and methods

To achieve the objectives and test the hypothesis put forward, the solution of a spatial equilibrium model applied to the 2014/15 harvest sugar market was formulated and obtained. The formulation of

30 %, e incrementó el azúcar crudo (mascabado) a 70 % de exportaciones totales (CONADESUCA, 2017; Rodríguez, 2017).

Ante el panorama que se tiene del comercio de azúcar con los EE. UU. y el excedente de producción en las últimas zafas, surge la necesidad de incursionar en nuevos mercados; sin embargo, ante los bajos precios internacionales del azúcar, se deben considerar las alternativas propuestas en el PRONAC (2014), como destinar la caña a la producción sustentable de biocombustibles para el mercado nacional, para la producción de alcohol, así como productos y subproductos, con lo que se aprovecharían los altos niveles de producción de caña de azúcar alcanzados. Otra alternativa sería, destinar la caña como forraje, principalmente para el ganado bovino.

Diversos autores han planteado que la diversificación de productos derivados de la caña es una opción que debe considerarse (Aguilar, 2012; Aguilar, 2014; CONADESUCA 2016c; Senties, Gómez, Valdez, Silva, & Trejo, 2014). En especial, por la situación que se ha presentado en la industria azucarera nacional, como la caída de la productividad en campo y fábrica, los precios internacionales bajos del azúcar, la disminución del consumo interno por la sustitución de sacarosa, por jarabes de maíz y edulcorantes no calóricos, y la inestabilidad de los precios del petróleo, entre otros.

Una oportunidad de diversificación para que la agroindustria azucarera mexicana pueda hacer frente a los problemas que presenta actualmente, es el destinar caña a la producción de biocombustibles, principalmente etanol. Aunque la producción de etanol en nuestro país ya se lleva a cabo en algunos ingenios, éste solo se produce para usos en bebidas alcohólicas, productos farmacéuticos y alimenticios, y como solventes y reactivos industriales, pero hasta ahora, no se ha hecho un esfuerzo sólido por aumentar su producción como combustible.

El determinar la superficie cultivada óptima de caña destinada a la producción de azúcar, puede ayudar a establecer políticas de control de la oferta de este producto, evitar la sobreproducción, hacer frente a la situación que se tiene con el comercio de EE. UU. y poder asignar la sobreproducción de caña para otros usos.

the model was based on Takayama and Judge (1971) and the target function of the model maximizes net profit. Considering $h(h=1,2...H=45)$ sugarcane producing areas, $i(i=1,2...H=54)$ standard and refined sugar producing mills, $j(j=1,2...J=32)$ national consumer markets for standard and refined sugar, and $e(e=1,2...E=12)$ borders and ports of exit for standard and refined sugar exports, the mathematical representation of the model is:

$$\begin{aligned} MaxZ = & \sum_{j=1}^J [p_j y_j] + \sum_{e=1}^E [p_e y_e] - \sum_{h=1}^H [cp_i x_i] - \sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^I [ct_{hi} x_{hi}] \\ & - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [ct_{ij}^c x_{ij}^c] - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [ct_{ij}^f x_{ij}^f] \\ & - \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E [ct_{ie}^c x_{ie}^c] - \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E [ct_{ie}^f x_{ie}^f] \\ & - \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E [ct_{ie}^m x_{ie}^m] - \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E [sct_{ie}^m x_{ie}^m] \end{aligned}$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^I [x_{hi}] \leq x_h$$

$$\sum_i [x_{hi}] = ctr_i x_i$$

$$\sum_{i=1}^J [x_{ij}^c] + \sum_{j=1}^J [x_{ij}^f] + \sum_{e=1}^E [x_{ie}^c] + \sum_{e=1}^E [x_{ie}^f] \leq x_i$$

$$\sum_{i=1}^I [x_{ij}^c] + \sum_{i=1}^I [x_{ij}^f] \geq y_j$$

$$\sum_{i=e}^E [x_{ie}^c] + \sum_{e=1}^E [x_{ie}^f] \geq y_e$$

$$x_{hi}, x_i, \dots, x_{ie}^f \geq 0$$

where p_j is the average consumer price of standard and refined sugar in region j ; y_j is the amount of standard and refined sugar consumed in j ; p_e is the international price of standard and refined sugar in e ; y_e is the amount of standard and refined sugar exported

Considerando la importancia que tiene la industria azucarera en nuestro país, y tomando en cuenta la sobreproducción y la reducción en exportaciones en los últimos años, la presente investigación tuvo como objetivo determinar la superficie nacional óptima destinada para la producción de caña de azúcar, así como identificar las zonas en las cuales debería diversificarse el uso de la producción de caña en otros productos como el etanol.

Materiales y métodos

Para alcanzar los objetivos y probar la hipótesis planteada, se formuló y obtuvo la solución de un modelo de equilibrio espacial aplicado al mercado del azúcar de la zafra 2014/15. La formulación del modelo se basó en Takayama y Judge (1971) y la función objetivo del modelo maximiza la ganancia neta. Considerando $h(h=1,2...H=45)$ zonas productoras de caña de azúcar, $i(i=1,2...H=54)$ ingenios productores de azúcar estándar y refinada, $j(j=1,2...J=32)$ mercados nacionales consumidores de azúcar estándar y refinada, $e(e=1,2...E=12)$ fronteras y puertos de salida de las exportaciones de azúcar estándar y refinada, la representación matemática del modelo es:

1)

2)

3)

4)

5)

6)

7) Sujeto a:

$$\begin{aligned} MaxZ = & \sum_{j=1}^J [p_j y_j] + \sum_{e=1}^E [p_e y_e] - \sum_{h=1}^H [cp_i x_i] - \sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^I [ct_{hi} x_{hi}] \\ & - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [ct_{ij}^c x_{ij}^c] - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [ct_{ij}^f x_{ij}^f] \\ & - \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E [ct_{ie}^c x_{ie}^c] - \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E [ct_{ie}^f x_{ie}^f] \\ & - \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E [ct_{ie}^m x_{ie}^m] - \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E [sct_{ie}^m x_{ie}^m] \end{aligned}$$

1)

$$\sum_{i=1}^I [x_{hi}] \leq x_h$$

2)

$$\sum_i [x_{hi}] = ctr_i x_i$$

3)

by e ; cp_i is the production cost of standard and refined sugar in the mill; x_i is the production of standard and refined sugar in mill i ; ctr_i is the sugarcane-to-sugar transformation coefficient; ct_{hi} are the costs of hauling sugarcane from the development districts h to the mills i ; x_{hi} are the shipments of sugarcane from h to the mills i ; ct_{ij}^c are the truck transport costs from the mills i to the consumer areas; x_{ij}^c are the standard and refined sugar shipments by truck from i to j ; ct_{ij}^f are the rail transport costs from i to j ; x_{ij}^f is the amount of standard and refined sugar sent by rail from i to j ; ct_{ie}^c are the truck transport costs from the mills i to the export point areas e ; x_{ie}^c are the shipments by truck of standard and refined sugar from i to e ; ct_{ie}^f are the rail transport costs from i to e and; x_{ie}^f are shipments of standard and refined sugar by rail from i to e .

Equation 1 represents the target function of the model and maximizes net profit, which is equal to the revenues from the sale of the product (in the domestic market as exports) minus the costs of producing sugar, minus the costs of hauling sugarcane from the producing areas to the mills, minus the costs of transporting sugar by truck and rail for the domestic market and exports.

The target function is subject to six restrictions. Equation 2 indicates the distribution of sugarcane from the producing areas h to the mills i . Equation 3 indicates that the amount of sugarcane sent from producing areas h to mills i must be equal to the amount of sugar produced multiplied by the sugarcane-sugar transformation coefficient. Equation 4 indicates how the production of standard and refined sugar is distributed by truck and rail from the mills i to the national consumer and export areas j and e . Equations 5 and 6 indicate how the consumption of national sugar j and exports e is supplied through receipt of sugar from the mills i by truck and rail. Finally, restriction 7 establishes the conditions of non-negativity.

Four solutions were obtained from the model. The first represents the situation observed in the 2014/15 harvest. To determine the optimum sugarcane cultivation area, three scenarios were carried out, considering a decrease in the total national production of standard and refined sugar. Scenario 1 considered a 10 % reduction in total sugar

$$\sum_{i=1}^J [x_{ij}^c] + \sum_{j=1}^J [x_{ij}^f] + \sum_{e=1}^E [x_{ie}^c] + \sum_{e=1}^E [x_{ie}^f] \leq x_i \quad 4)$$

$$\sum_{i=1}^I [x_{ij}^c] + \sum_{i=1}^I [x_{ij}^f] \geq y_j \quad 5)$$

$$\sum_{i=e}^E [x_{ie}^c] + \sum_{e=1}^E [x_{ie}^f] \geq y_e \quad 6)$$

$$x_{hi}, x_{ij}, \dots, x_{ie}^f \geq 0 \quad 7)$$

donde p_j es el precio promedio al consumidor de azúcar estándar y refinada en la región j ; y_j es la cantidad consumida de azúcar estándar y refinada en j ; p_e es el precio internacional del azúcar estándar y refinada en e ; y_e es la cantidad de azúcar estándar y refinada exportada por e ; cp_i es el costo de producción del azúcar estándar y refinada en el ingenio; x_i es la producción de azúcar estándar y refinada en el ingenio i ; ctr_i es el coeficiente de transformación de caña a azúcar; ct_{hi} son los costos de acarreo de caña de los distritos de desarrollo h a los ingenios i ; x_{hi} son los envíos de caña de h a; ct_{ij}^c son los costos de transporte por camión de los ingenios i a las zonas consumidoras; x_{ij}^c son los envíos de azúcar estándar y refinada por camión de i a j ; ct_{ij}^f son los costos de transporte por ferrocarril de i a j ; x_{ij}^f es la cantidad de azúcar enviada por ferrocarril de azúcar estándar y refinada de i a j ; ct_{ie}^c son los costos de transporte por camión de los ingenios i a las zonas puntos de exportación e ; x_{ie}^c son los envíos por camión de azúcar estándar y refinada de i a e ; ct_{ie}^f son los costos de transporte por ferrocarril de i a e ; x_{ie}^f son los envíos de azúcar estándar y refinada por ferrocarril de i a e .

La ecuación 1 representa la función objetivo del modelo y maximiza ganancia neta, la cual es igual a los ingresos por la venta del producto (en el mercado doméstico como las exportaciones) menos los costos de producción de azúcar, menos los costos de acarreo de la caña de las zonas productoras a los ingenios, menos los costos de transporte de azúcar por camión y ferrocarril del mercado doméstico y exportaciones.

La función objetivo está sujeta a seis restricciones. La ecuación 2 indica la distribución de caña de las

production, and scenarios 2 and 3 a reduction of 15 and 20 %, respectively.

In all three scenarios, the production of standard and refined sugar at the mills is considered as an endogenous variable. As total sugar production decreases, production in the mills decreases in a range that goes from the current supply level until possibly zero; using this decrease, the harvested area for each scenario was indirectly calculated as follows:

$$SC_i = \frac{CM_i}{R_i} \quad 8)$$

where for each mill i , is the harvested area in ha; is the amount of milled sugarcane in tons for sugar production and; is the field yield in $t\cdot ha^{-1}$. The model considered the 45 sugarcane-producing development districts (two in Campeche, two in Colima, four in Chiapas, five in Jalisco, four in Michoacán, one in Morelos, four in Nayarit, two in Oaxaca, two in Puebla, one in Quintana Roo, two in San Luis Potosí, three in Sinaloa, two in Tabasco, two in Tamaulipas and nine in Veracruz), 54 sugar mills (one in Campeche, two in Colima, two in Chiapas, six in Jalisco, three in Michoacán, two in Nayarit, three in Oaxaca, two in Puebla, one in Quintana Roo, four in San Luis Potosí, three in Tabasco, two in Tamaulipas, two in Sinaloa, two in Morelos and twenty in Veracruz), all standard and refined sugar consuming regions (31 states and Mexico City) and 12 export exit points (Veracruz, Coatzacoalcos, Tampico and Progreso in the Gulf; Ciudad Hidalgo and Lázaro Cárdenas in the Pacific; and Ciudad Juárez, Mexicali, Nogales, Piedras Negras, Nuevo Laredo and Matamoros in the North).

To obtain the model solution, information was obtained on the main variables related to the sugar market at the national level for the 2014/15 harvest. The information on sugarcane production for each development district was obtained from the Agri-Food and Fisheries Information Service (SIAP, 2016a) of the Ministry of Agriculture, Livestock, Rural Development, Fisheries and Food (SAGARPA). The monthly production total was taken into account, beginning in October 2014 and ending in September 2015. The sugarcane-to-sugar transformation coefficient was obtained from

zonas productoras h hacia los ingenios i . La ecuación 3 indica que la cantidad enviada de caña de las zonas productoras h hacia los ingenios i debe ser igual a la cantidad de azúcar producida multiplicada por el coeficiente de transformación caña-azúcar. La ecuación 4 indica cómo se distribuye por camión y ferrocarril, la producción de azúcar estándar y refinada de los ingenios i a las zonas consumidoras nacionales y exportaciones j y e . Las ecuaciones 5 y 6 indican cómo se abastece el consumo de azúcar nacional j y exportaciones e a través de recepciones de azúcar proveniente de los ingenios i por camión y ferrocarril. Por último, la restricción 7 establece las condiciones de no negatividad.

Se obtuvieron cuatro soluciones del modelo. La primera, representa la situación observada en la zafra 2014/15). Para determinar la superficie óptima de cultivo de caña se realizaron tres escenarios considerando una disminución en la producción total nacional de azúcar estándar y refinada. El escenario 1, consideró una reducción de 10 % de la producción total de azúcar, y los escenarios 2 y 3 una reducción de 15 y 20 %, respectivamente.

En los tres escenarios la producción de azúcar estándar y refinada en los ingenios se considera como variable endógena. Al disminuir la producción total de azúcar, la producción en los ingenios disminuye en un rango que va de la oferta actual hasta poder ser nula, con dicha disminución se calculó de manera indirecta la superficie cosechada para cada escenario de la siguiente manera:

$$SC_i = \frac{CM_i}{R_i} \quad 8)$$

donde para cada ingenio i , es la superficie cosechada en ha; es la cantidad de caña molida en tonelada para la producción de azúcar y; es el rendimiento en campo en $t\cdot ha^{-1}$. El modelo consideró los 45 distritos de desarrollo productores de caña (dos en Campeche, dos en Colima, cuatro en Chiapas, cinco en Jalisco, cuatro en Michoacán, uno en Morelos, cuatro en Nayarit, dos en Oaxaca, dos en Puebla, uno en Quintana Roo, dos en San Luis Potosí, tres en Sinaloa, dos en Tabasco, dos en Tamaulipas y nueve en Veracruz), 54 ingenios azucareros (uno en Campeche, dos en Colima, dos en Chiapas, seis en

Infocaña-CONADESUCA (2016). Data on standard and refined sugar production at mill level were obtained from CONADESUCA (2016a¹). The average consumer prices of standard and refined sugar in the country's 32 cities came from SNIIM (2016).

Sugar production costs were provided by the mills, which account for 71 % of the selling price of sugar. Because there are no data on state consumption of standard and refined sugar, they were estimated as follows: a) State consumption of standard sugar for the analysis period was obtained by multiplying the national consumption of standard sugar by each state's share of the population; b) State consumption of refined sugar was obtained by multiplying the total national consumption of refined sugar by each state's share of the production value of the soft drink and biscuit industry. The information for estimating consumption came from CONADESUCA (2016a¹), INEGI (2009) and INEGI (2010).

The international price corresponds to contract number 16, quoted on the New York Stock Exchange (ICE, 2016), which is the most used reference for Mexican standard sugar export operations to the U.S. This price corresponds to Incoterm CIF, which means that the sugar is placed at a U.S. port of entry, i.e. the exporter covers transport and insurance costs. Currently there is a Suspension Agreement implemented at the end of 2014 between Mexico and the U.S. where minimum export prices for Mexican sugar were established; these minimum prices are 26 cents per pound for refined sugar and 22.25 cents per pound for standard sugar (ITA, 2014). To determine a more representative price received by exporters, freight and marine insurance costs were deducted from contract 16 prices; this information was obtained from the USDA (2017), WFR (2017) and Freight Insurance Center (2017).

The exported amount of standard and refined sugar came from CONADESUCA (2016a¹). Exports distributed by port of exit were obtained from SIAP (2016b). To calculate the export price in pesos, we used the exchange rate reported by BANXICO, whose data were provided by CONADESUCA (2016a¹).

Sugarcane hauling costs were obtained from the Sugarcane Production Costs Information System of the National Committee for Sustainable Sugarcane Development (Si-Costos-CONADESUCA, 2016) and

Jalisco, tres en Michoacán, dos en Nayarit, tres en Oaxaca, dos en Puebla, uno en Quintana Roo, cuatro en San Luis Potosí, tres en Tabasco, dos en Tamaulipas, dos en Sinaloa, dos en Morelos y veinte en Veracruz), todas las regiones consumidoras de azúcar estándar y refinada (31 estados y CDMX) y 12 puntos de salida de las exportaciones (Veracruz, Coatzacoalcos, Tampico y Progreso en el Golfo; Ciudad Hidalgo y Lázaro Cárdenas en el Pacífico; y Ciudad Juárez, Mexicali, Nogales, Piedras Negras, Nuevo Laredo y Matamoros en el Norte).

Para obtener la solución del modelo se obtuvo información sobre las principales variables relacionadas con el mercado de azúcar a nivel nacional de la zafra 2014/15. La información sobre producción de caña para cada distrito de desarrollo fue obtenida del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2016a) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Se tomó en cuenta la suma de la producción mensual, iniciando en octubre de 2014 y finalizando en septiembre de 2015. El coeficiente de transformación de caña a azúcar se obtuvo de Infocaña-CONADESUCA (2016). Los datos sobre producción de azúcar estándar y refinada a nivel de ingenio se obtuvieron de CONADESUCA (2016a¹). Los precios promedio al consumidor de azúcar estándar y refinada en las 32 ciudades del país provinieron del SNIIM (2016).

Los costos de producción de azúcar fueron proporcionados por los ingenios, los cuales representan el 71 % del precio de venta del azúcar. Debido a que no existen datos del consumo estatal de azúcar estándar y refinada, éstos se estimaron de la siguiente manera: a) El consumo estatal de azúcar estándar del periodo de análisis se obtuvo al multiplicar el consumo nacional de azúcar estándar por la participación de cada estado en la población; b) El consumo estatal de azúcar refinada se obtuvo al multiplicar el consumo nacional total de azúcar refinada por la participación de cada estado en el valor de la producción de la industria de refrescos y galletas. La información para estimar el consumo provino de CONADESUCA (2016a¹), INEGI (2009) e INEGI (2010).

El precio internacional corresponde al contrato número 16, cotizado en la bolsa Nueva York (ICE, 2016), el cual es el referente más utilizado para las

from information provided directly at the mills. Sugar transport costs were calculated using distance matrices that connect the mills with the consumer areas and export exit points. The model considers truck and rail as means of transport. A fixed factor and a variable factor depending on distance were taken. For rail, information on fixed and variable factors came from the SCT (2016). In the case of trucks, the fixed and variable factor for estimating transport cost was estimated using a function where the transport cost was the dependent variable and distance the independent variable; the information needed to estimate this function came from transport companies engaged in the sugar trade.

The model solution was estimated using the MINOS procedure written in the GAMS (General Algebraic Modeling Systems) programming language.

Results and discussion

The revenues, costs and profit of the sugar industry at the national level observed and under the scenarios are shown in Table 1. For the 2014/15 harvest, the two main products made with sugarcane (raw material in the sugar industry) were standard and refined sugar which together accounted for 92 % of total sugar production, surpassing 43 billion pesos in revenue from domestic sales and more than 12 billion pesos from exports. Total costs amounted to 43 395 million pesos, of which 37 641 (86.7 %) were production and raw material costs, 3 039 (7.0 %) sugarcane haulage costs, 1 867 (4.3 %) transport costs for sugar sales in the national territory and 848 (2 %) transport costs for exports. The industry's profit exceeded 12 billion pesos.

Under the scenarios, that is, gradual decreases in national sugar production of 10, 15 and 20 %, the profit only slightly decreases by 0.79, 1.6 and 2.6 % respectively, due to the fact that, although export revenues are reduced, production costs, raw material haulage costs and export transport costs are also reduced (Table 1).

Table 2 shows the observed sugar production and in the different scenarios of each of the 16 sugar mills that decrease their production; the remaining 38 did not show any change, so they are only included in the category of others. The data observed in the

operaciones de exportaciones mexicanas de azúcar estándar a los EE. UU. Dicho precio corresponde al Incoterm CIF, lo que significa que el azúcar es puesto en un puerto de entrada de los EE. UU., es decir, el exportador cubre los gastos de transporte y seguro. Actualmente existe un Acuerdo de Suspensión llevado a cabo a finales del 2014 entre México y EE. UU. donde se establecieron precios mínimos de exportación de azúcar mexicana, estos precios mínimos son de 26 centavos por libra para el azúcar refinado y 22.25 centavos para el azúcar estándar (ITA, 2014). Para determinar un precio más representativo que reciben los exportadores, se le descontó el flete y seguro marítimo a los precios del contrato 16, dicha información se obtuvo del USDA (2017), WFR (2017) y Freight Insurance Center (2017).

La cantidad exportada de azúcar estándar y refinada provino de CONADESUCA (2016a¹). Las exportaciones distribuidas por puerto de salida se obtuvieron del SIAP (2016b). Para calcular el precio de exportación en pesos se usó el tipo de cambio reportado por BANXICO cuyos datos fueron proporcionados por CONADESUCA (2016a¹).

Los costos de acarreo de la caña se obtuvieron del Sistema de Información de Costos de Producción de Caña de Azúcar del Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (Si-Costos-CONADESUCA, 2016) y de información proporcionada directamente en los ingenios. Los costos de transporte de azúcar se calcularon utilizando matrices de distancias que conectan los ingenios con las zonas consumidoras y puntos de salida de las exportaciones. El modelo considera el camión y ferrocarril como medios de transporte. Se tomó un factor fijo y un factor variable que depende de la distancia. Para el ferrocarril, la información sobre los factores fijo y variable provinieron de la SCT (2016). En el caso de camión, el factor fijo y variable para estimar el costo de transporte se estimó usando una función donde el costo de transporte fue la variable dependiente y la distancia independiente; la información necesaria para estimar dicha función provino de empresas transportistas dedicadas al comercio del azúcar.

La solución del modelo fue estimada usando el procedimiento MINOS escrito en el lenguaje de programación GAMS (General Algebraic Modeling Systems).

2014/15 harvest indicate that there was a national sugar supply equal to 5.98 million tons, with the San Cristóbal, Tres Valles and Tala (José Ma. Martínez) mills having the highest production with 281.8, 272.8 and 270.8 thousand tons, respectively. The production total of the mills that did not present change was 4.04 million tons (67.5 % of the national total). The national area devoted to sugarcane cultivation was 783.5 thousand hectares (Table 3).

Scenario 1 assumes that total sugar production decreases 10 % (from 5.98 to 5.38 million tons). Production would be reduced in nine sugar mills, of which San Cristóbal and San Nicolás in Veracruz and Plan de Ayala in San Luis Potosí would have the greatest reduction in absolute terms with 276.0, 97.5 and 85.2 thousand t, respectively (Table 2). The decrease may be due to the high sugarcane haulage costs and their distance from consumption areas, thereby increasing transport costs.

Under this same scenario, the sugarcane harvested area at the national level would decrease

Resultados y discusión

Los ingresos, costos y ganancia de la industria azucarera a nivel nacional observados y bajo los escenarios, se presentan en el Cuadro 1. Para la zafra 2014/15, los dos principales productos elaborados con caña (materia prima propia en la Industria azucarera) lo constituyeron el azúcar estándar y la refinada que en conjunto representaron 92 % del total de la producción de azúcares, superando los 43 mil millones de pesos en ingresos por ventas nacionales y más de 12 mil millones por exportaciones. Los costos totales, ascendieron a 43 395 millones de pesos, de los cuales 37 641 (86.7 %) fueron de costos de producción y materia prima, 3 039 (7.0 %) de acarreo de caña, 1 867 (4.3 %) de costos de transporte por ventas del azúcar en territorio nacional y 848 (2 %) de costos de transporte por exportaciones. La ganancia de la industria superó los 12 mil millones de pesos.

Bajo los escenarios, es decir, disminuciones graduales de la producción nacional de azúcar en 10, 15 y 20 %, la ganancia apenas disminuye en 0.79, 1.6 y

Table 1. Revenues, costs and profit of the Mexican sugar industry under different scenarios. Figures in millions of pesos.

Cuadro 1. Ingresos, costos y ganancia de la industria azucarera en México bajo diferentes escenarios. Cifras en millones de pesos.

Indicator / Indicador	2014/15 harvest / Zafra 2014/15	Sugar production decreases by / La producción de azúcar disminuye en:		
		10 %	15 %	20 %
Domestic sales revenue / Ingreso por ventas nacionales	43 479	43 479	43 479	43 479
Export revenue / Ingreso por exportaciones	12 395	7 704	5 358	3 012
Production costs / Costos de producción	37 641	33 825	31 919	30 036
Sugarcane haulage costs / Costos de acarreo de caña	3 039	2 569	2 381	2 200
Transport costs in the domestic market / Costos de transporte en el mercado nac.	1 867	1 901	1 901	1 901
Export transport costs / Costos de transporte de exportaciones	848	507	356	200
Industry profit / Ganancia de la industria	12 479	12 382	12 278	12 154
Amount of sugarcane used (thousands of t) / Cantidad de caña usada (miles de t)	53 599	47 939	45 085	42 383
Exports (thousands of t) / Exportaciones (miles de t)	1 581	983	683	384

Source: Author-made with data obtained from the model solution.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la solución del modelo.

Table 2. Determination of the sugar mills that should reduce sugar production in the face of a diversification of sugarcane uses. Figures in thousands of tons.**Cuadro 2. Determinación de los ingenios que deben reducir la producción de azúcar ante una diversificación de los usos de la caña. Cifras en miles de toneladas.**

Sugar mill / Ingenio	Sugar production / Producción de azúcar				Decrease in production / Disminución de la producción			Change with respect to the base model / Cambio respecto al modelo base		
	Base	S1 /	S2 /	S3 /	S1 /	S2 /	S3 /	S1 /	S2 /	S3 /
		E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
		Thousands of tons / Miles de toneladas				%				
La Joya, Camp.	86.7	83.4	83.4	36.1	3.3	3.3	50.6	3.8	3.8	58.3
Pujilic, Chis.	201.9	201.9	178.1	178.1	0.0	23.8	23.8	0.0	11.8	11.8
Lázaro Cárdenas, Mich.	42.4	23.7	23.7	23.7	18.7	18.7	18.7	44.2	44.2	44.2
Santa Clara, Mich.	75.1	51.4	51.4	0.0	23.6	23.6	75.1	31.5	31.5	100
Puga, Nay.	189.3	189.3	189.3	186.0	0.0	0.0	3.3	0.0	0.0	1.7
S. R. de Pucté, Q.R.	146.2	144.9	144.9	144.9	1.3	1.3	1.3	0.9	0.9	0.9
Plan de Ayala, S.L.P.	110.9	25.7	29.7	52.8	85.2	81.2	58.1	76.8	73.2	52.4
Plan de San Luis, S.L.P.	136.0	136.0	69.8	42.7	0.0	66.2	93.4	0.0	48.7	68.6
Santa Rosalía, Tab.	55.1	55.1	55.1	55.1	0.0	0.0	0.0	0.05	0.05	0.05
El Modelo, Ver.	113.9	86.8	86.8	26.2	27.0	27.0	87.6	23.7	23.7	77.0
San Pedro, Ver.	119.2	119.2	119.2	0.0	0.0	0.0	119.2	0.0	0.0	100
San Cristóbal, Ver.	281.8	5.8	0.0	0.0	276.0	281.8	281.8	98.0	100	100
Constancia, Ver.	82.2	16.3	0.0	0.0	65.9	82.2	82.2	80.1	100	100
El Carmen, Ver.	24.0	24.0	0.0	0.0	0.0	24.0	24.0	0.0	100	100
El Higo, Ver.	180.6	180.6	13.5	0.0	0.0	167.2	180.6	0.0	92.6	100
San Nicolás, Ver.	97.5	0.0	0.0	0.0	97.5	97.5	97.5	100	100	100
Others / Otros	4	4	4	4	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	042.4	042.4	042.4	042.4						
	5	5	5	4	598.5	897.7	1	0.1	0.15	0.2
Total	985.0	386.5	087.2	788.0			197.0			

S1= escenario 1; S2= escenario 2; S3= escenario 3.

Source: Author-made with data from the model solution.

E1= escenario 1; E2= escenario 2; E3= escenario 3.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la solución del modelo.

by 12.2 % (from 783.5 to 687.6 thousand ha) (Table 3), with the Ciudad Alemán, Jáltipan and San Andrés Tuxtla regions in the state of Veracruz (areas that supply the San Cristóbal sugar mill) being the ones that most diminish their harvested area, falling from 50.2 to 1 ha (98 % decrease). Other areas that would decrease their sugarcane harvested area would be Fortín in Veracruz and Ciudad Valles in San Luis

2.6 % respectivamente, esto debido a que, aunque se reducen los ingresos por exportaciones, también se reducen los costos de producción, costos de acarreo de la materia prima y costos de transporte de exportación (Cuadro 1).

En el Cuadro 2 se presenta la producción de azúcar observada y en los diferentes escenarios de cada uno de los 16 ingenios que disminuyen su producción,

Table 3. Decrease in sugarcane area to produce sugar in Mexico in several scenarios. Figures in thousands of hectares.
Cuadro 3. Disminución de la superficie de caña para producir azúcar en México en varios escenarios. Cifras en miles de hectáreas.

Sugar mill / Ingenio	Area / Superficie				Decrease in area / Disminución en la superficie				Change with respect to the model base / Cambio respecto al modelo base				RDDs that decrease their area in one or various scenarios / DDR que disminuyen su superficie en uno o varios escenarios
	Base	Thousands of ha / Miles de ha			S1 / E1	S2 / E2	S3 / E3	S1 / E1	S2 / E2	S3 / E3			
		S1 / E1	S2 / E2	S3 / E3									
		%											
La Joya, Camp.	14.7	14.1	14.1	6.1	0.6	0.6	8.5	3.8	3.8	58.3	Campeche (E1 and E2) Champotón (E3)		
Pujiltic, Chis.	17.1	17.1	15.1	15.1	0.0	2.0	2.0	0.0	11.8	11.8	San Cristóbal (E2 and E3)		
Lázaro Cárdenas, Mich.	4.7	2.6	2.6	2.6	2.1	2.1	2.1	44.2	44.2	44.2	Apatzingán (E1, E2, E3)		
Santa Clara, Mich.	7.1	4.8	4.8	0.0	2.2	2.2	7.1	31.5	31.5	100	Apatzingán (E1, E2 and E3) Zamora (E3)		
Puga, Nay.	28.7	28.7	28.7	28.2	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	1.7	Ahuacatlán (E3)		
S. R. de Pucté, Q.R.	30.6	30.4	30.4	30.4	0.3	0.3	0.3	0.9	0.9	0.9	Emiliano Zapata (E1, E2 and E3)		
Plan de Ayala, S.L.P.	18.9	4.4	5.0	9.0	14.5	13.8	9.9	76.8	73.2	52.4	Ciudad Valles (E1, E2 and E3) Ebano (E1, E2 and E3)		
Plan de San Luis, S.L.P.	20.6	20.6	10.6	6.5	0.0	10.0	14.2	0.0	48.7	68.6	Ciudad Valles (E2 and E3)		
Santa Rosalía, Tab.	13.0	13.0	13.0	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Cárdenas (E1, E2 and E3)		
El Modelo, Ver.	12.1	9.3	9.3	2.8	2.9	2.9	9.3	23.7	23.7	77.0	La Antigua (E3) Veracruz (E1, E2 and E3)		
San Pedro, Ver.	18.6	18.6	18.6	0.0	0.0	0.0	18.6	0.0	0.0	100	San Andrés Tuxtla (E3)		
San Cristóbal, Ver.	50.2	1.0	0.0	0.0	49.2	50.2	50.2	98.0	100	100	Ciudad Alemán (E1, E2 and E3) Jáltipan (E1, E2 and E3) San Andrés Tuxtla (E1, E2 y E3)		
Constancia, Ver.	14.0	2.8	0.0	0.0	11.3	14.0	14.0	80.1	100	100	Fortín (E1, E2 and E3)		
El Carmen, Ver.	4.1	4.1	0.0	0.0	0.0	4.1	4.1	0.0	100	100	Fortín (E2 and E3)		
El Higo, Ver.	24.6	24.6	1.8	0.0	0.0	22.8	24.6	0.0	92.6	100	Pánuco (E2 and E3)		
San Nicolás, Ver.	13.0	0.0	0.0	0.0	13.0	13.0	13.0	100	100	100	Fortín (E1, E2 and E3)		
Others	491.5	491.5	491.5	491.5	0.0	0.0	0.0	0	0	0	Fortín (E1, E2 and E3)		
Total	783.5	687.6	645.5	605.1	96.0	138.1	178.4	12.2	17.6	22.8	Fortín (E2 and E3)		

Source: Author-made with data obtained from the model solution.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la solución del modelo.

Potosí with reductions of 13 and 14.5 thousand ha, respectively. At state level, Veracruz has the greatest decrease in harvested area equal to 76.4 thousand hectares (80 % of the national reduction). The mills that reduce their production less and therefore their harvested area are La Joya in Campeche and San Rafael Pucté in Quintana Roo with 600 and 300 ha, respectively.

Assuming a reduction in national sugar production of 15 % (scenario 2), that is, to stop producing 897.7 thousand tons of sugar, as shown in Table 2, thirteen sugar mills would reduce their production, with the San Cristóbal, El Higo and San Nicolás mills (located in the state of Veracruz) standing out with decreases of 281.8, 167.2 and 97.5 thousands of t, respectively. These decreases are mainly because the San Cristóbal and El Higo mills are far from the main consumption centers, and despite being close to the export ports, by decreasing exports due to lack of supply, it is no longer so profitable to continue producing. In the case of the San Nicolás mill, sugarcane haulage costs are high because it is located in a mountainous area.

In the case of the national sugarcane harvested area under scenario 2, Table 2 shows it decreases 17.6 % (from 783.5 to 645.5 thousand ha). The state of Veracruz has the greatest decrease with 107 thousand ha and the development districts that would reduce their sugarcane cultivated area would be Veracruz, Ciudad Alemán, Jáltipan, San Andrés Tuxtla, Fortín and Pánuco, areas that supply the El Modelo, San Cristóbal, Constanica, El Carmen, El Higo and San Nicolás mills with raw materials.

Scenario 3 assumes a 20 % reduction in total sugar production to 4.78 million tons. This decrease is reflected in sixteen sugar mills, of which seven would cease producing (6 in Veracruz and 1 in Michoacán) because the model yields zero production (Table 2). In absolute terms, the San Cristóbal, El Higo and San Nicolás mills are the ones that would stop producing the most with a decrease of 281.8, 180.6 and 97.5 thousand tons, respectively.

The optimal sugarcane cultivated area in this scenario is equal to 605.1 thousand hectares (Table 3) because when sugar production ceases the sugarcane harvested area is also reduced; this reduction is equal to 178.4 thousand hectares with

los restantes 38 no presentaron ningún cambio por lo que solo se presentan englobados en la categoría de otros. Los datos observados en la zafra 2014/15 indican que se tuvo una oferta nacional de azúcar igual a 5.98 millones toneladas, siendo los ingenios San Cristóbal, Tres Valles y Tala (José Ma. Martínez) los que presentaron la mayor producción con 281.8, 272.8 y 270.8 mil toneladas, respectivamente. La suma de producción de los ingenios que no presentaron cambio fue de 4.04 millones de toneladas (67.5 % del total nacional). La superficie nacional destinada al cultivo de caña fue de 783.5 mil hectáreas (Cuadro 3).

En el escenario 1 se asume que la producción total de azúcar disminuye 10 % (de 5.98 a 5.38 millones de toneladas). En nueve ingenios se reduciría la producción, de los cuales San Cristóbal y San Nicolás en Veracruz y, Plan de Ayala en San Luis Potosí presentarían la mayor reducción en términos absolutos con 276.0, 97.5 y 85.2 mil t, respectivamente (Cuadro 2). La disminución puede deberse a los altos costos de acarreo de caña y lo alejado que se encuentran de las zonas de consumo aumentando los costos de transporte.

Bajo este mismo escenario, la superficie cosechada de caña a nivel nacional disminuiría en 12.2 % (de 783.5 a 687.6 mil ha) (Cuadro 3); siendo las regiones de Ciudad Alemán, Jáltipan y San Andrés Tuxtla en el estado de Veracruz (zonas que abastecen al ingenio de San Cristóbal) las que más disminuyen su superficie cosechada pasando de 50.2 a 1 ha (98 % de disminución). Otras zonas que disminuirían su superficie cosechada de caña serían el Fortín en Veracruz y Ciudad Valles en San Luis Potosí con reducciones de 13 y 14.5 mil ha, respectivamente. A nivel estatal, Veracruz presenta la mayor disminución de superficie cosechada igual a 76.4 mil hectáreas (80 % de la reducción nacional). Los ingenios que reducen menos su producción y, por lo tanto, su superficie cosechada son La Joya en Campeche y San Rafael Pucté en Quintana Roo con 600 y 300 ha, respectivamente.

Al suponer una reducción en la producción nacional de azúcar de 15 % (escenario 2), es decir, dejar de producir 897.7 mil toneladas de azúcar, como se observa en el Cuadro 2, trece ingenios reducirían su producción de los cuales resaltan San Cristóbal, el Higo y San Nicolás (ubicados en el estado de

respect to the base situation. Veracruz is the state that would most reduce its harvested area by 133.8 thousand ha (75 % of the total reduction), a decrease that is reflected in eight of the nine producing districts. These districts are: La Antigua, Veracruz, San Andrés Tuxtla, Ciudad Alemán, Jáltipan, Fortín and Pánuco. The second state would be San Luis Potosí with 24.1 thousand ha with decreases in the districts of Ciudad Valles and Ébano.

Conclusions

The diverse solutions of a spatial equilibrium model that analyzes the distribution of production in the national and export markets, as well as the supply for sugar consumption, allow concluding that, in the face of a decrease in total sugar production, the sugar mills located in the states of Veracruz and San Luis Potosí would be the ones that would most reduce their production and, consequently, their area allocated for sugarcane production. The characteristic shared by these areas is the very high costs of hauling raw material.

An effort to control the sugarcane cultivated area devoted to sugar production could reduce the overproduction of the sweetener that occurs in certain months, avoiding the volatility of prices, as well as being able to allocate the remaining area for the diversification of products, such as biofuels; moreover, thanks to the megadiversity that we have in our country, we can allocate the area for the production of other crops of economic relevance and with market potential.

End of English version

References / Referencias

- Aguilar R., N. (2012). "Paradigma de la diversificación de la agroindustria azucarera de México". CONVERGENCIA, Revista de Ciencias Sociales 19:187-213.
- Aguilar R., N. (2014). "Índice de diversificación de la agroindustria azucarera en México". Agricultura Sociedad y Desarrollo 11: 441-462.
- Barrera, A. (2017). "México cancela permisos vigentes de exportación de azúcar a EE. UU., busca evitar sanciones". Reuters América Latina, 7 de marzo de 2017.

Veracruz) con disminuciones de 281.8, 167.2 y 97.5 miles de t, respectivamente. Estas disminuciones se deben principalmente a que los ingenios San Cristóbal y El Higo se encuentran alejados de los principales centros de consumo, y a pesar de estar cerca de los puertos de exportación al disminuir las exportaciones por falta de oferta ya no es tan rentable seguir produciendo. En el caso del ingenio de San Nicolás, están presentes los altos costos de acarreo de caña, esto debido a que está ubicado en una zona montañosa.

En el caso de la superficie nacional cosechada de caña bajo el escenario 2, en el Cuadro 2 se puede observar que disminuye 17.6 % (de 783.5 a 645.5 mil ha). El estado de Veracruz presenta la mayor disminución con 107 mil ha y los distritos de desarrollo que reducirían su superficie cultivada de caña serían Veracruz, Ciudad Alemán, Jáltipan, San Andrés Tuxtla, Fortín y Pánuco; zonas que abastecen de materia prima a los ingenios El Modelo, San Cristóbal, Constanza, El Carmen, El Higo y San Nicolás.

En el escenario 3 se asume una reducción en la producción total de azúcar de 20 %; ubicándose en 4.78 millones de toneladas. Tal disminución se ve reflejada en diez y seis ingenios de los cuales siete dejarían de producir (6 en Veracruz y 1 en Michoacán) pues el modelo arroja una producción de cero (Cuadro 2). En términos absolutos los ingenios San Cristóbal, El Higo y San Nicolás, son los que más dejarían de producir con 281.8, 180.6 y 97.5 mil toneladas en disminución, respectivamente.

La superficie cultivada óptima de caña en este escenario es igual a 605.1 mil hectáreas (Cuadro 3) pues al dejar de producirse azúcar, la superficie cosechada de caña también se reduce, dicha reducción es igual a 178.4 mil ha con respecto a la situación base. Veracruz es el estado que más reduciría su superficie cosechada en 133.8 mil ha (75 % de la reducción total), disminución que se ve reflejada en ocho de los nueve distritos productores. Dichos distritos son: La Antigua, Veracruz, San Andrés Tuxtla, Ciudad Alemán, Jáltipan, Fortín y Pánuco. El segundo estado sería San Luis Potosí con 24.1 mil ha y disminuciones en los distritos de Ciudad Valles y Ébano.

- CONADESUCA, Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (201a¹). Balance nacional de azúcar, varios meses. Disponible en: <http://www.gob.mx/conadesuca>. (Agosto 2016).
- CONADESUCA, Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (2016c). Diversificación de la caña de azúcar para otros fines. Nota Técnica Informativa del sector de la caña de azúcar. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114368/CAMBIOSNotaABRIL2016.pdf> (agosto de 2017)
- CONADESUCA, Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (2017). México y EE. UU. Alcanzan acuerdo sobre comercio de azúcar: Fuentes Cercanas A Negociaciones. Disponible en: <https://www.gob.mx/conadesuca/prensa/iniciara-la-zafra-a-mediados-de-noviembre-ramiro-ocha> (junio de 2017).
- Freight Insurance Center (2017). Online Freight Insurance Rate. L. A. California, USA. <http://www.freightinsurancecenter.com/freightinsuranceonlinerate.htm> (Enero 2017).
- DOF, Diario Oficial de la Federación (2015). Acuerdo por el que se sujeta a permiso previo la exportación de azúcar. Secretaría de Gobernación. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5381128&fecha=06/02/2015 (octubre 2016)
- ICE, Intercontinental Exchange (2016). Commodity report center, Sugar 16 historical prices. <https://www.theice.com/FuturesUSReportCenter.shtml?productName=Sugar> (Consulta: septiembre 2016).
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2009). Censos económicos. 2009. Aguascalientes, Ags., México. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/censos/ce2009/default.asp?s=est&c=14220> (Consulta: septiembre 2016).
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2010). Censo de población y vivienda 2010. Aguascalientes, Ags., México. www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx (consulta: septiembre 2016).
- Infocaña-CONADESUCA, Sistema Infocaña-Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (2016). Estadísticas de campo y

Conclusiones

Las soluciones diversas de un modelo de equilibrio espacial que analiza la distribución de la producción en el mercado nacional y de exportaciones, así como el abasto del consumo de azúcar, permiten concluir que, ante una disminución en la producción total de azúcar, los ingenios ubicados en los estados de Veracruz y en San Luis Potosí serían los que más reducirían su producción y, por consiguiente, la superficie destinada a la producción de caña. La característica que comparten estas zonas son los costos de acarreo de materia prima muy elevados.

Un esfuerzo por controlar la superficie cultivada de caña destinada a la producción de azúcar, podría reducir la sobreproducción del edulcorante que se tiene en ciertos meses, evitando la volatilidad de los precios, así como poder destinar la superficie restante para la diversificación de productos, tales como los biocombustibles, y gracias a la megadiversidad que se tiene en nuestro país, poder destinar la superficie para la producción de otros cultivos de relevancia económica y con potencial de mercado.

Fin de la versión en español

- fábrica, reportes de cierre. CONADESUCA. México, D. F. <http://www.campomexicano.gob.mx/azcf/reportes/reportes.php?tipo=CIERRE> (agosto 2016)
- ITA, International Trade Administration (2014). Antidumping and countervailing duty suspension agreements on sugar from Mexico. U.S. Department of Commerce. Disponible en: <http://enforcement.trade.gov/download/factsheets/factsheet-mexico-sugar-suspension-agreement-ad-cvd-121914.pdf> (enero 2017)
- La Razón. (2017). "México cancela los envíos de azúcar a EU para evitar sanción". La Razón, 8 de marzo de 2017.
- PRONAC, Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2014-2018 (2014). Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Gobernación. México, D. F. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5343244&fecha=02/05/2014
- Rodríguez, J. (2017). "Cañeros ponen condiciones a Estados Unidos". Novedades de Quintana Roo, 6 de junio de 2017.

- SCT, Secretaría de Comunicaciones y Transporte (2016). Tarifas ferroviarias de carga. Disponible: <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/transporte-ferroviario-y-multimodal/tarifas-ferroviarias-de-carga/> (agosto de 2016).
- SE, Secretaría de Economía (2012). Análisis de la situación económica, tecnológica y de política comercial del sector de edulcorantes en México. Dirección General de Industrias Básicas. México, D. F. http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/Analisis_Sectorial_Mercado_Edulcorantes.pdf (enero 2017).
- Senado de la República (2017). México y EE. UU. llegan a acuerdo sobre conflicto por el comercio binacional de azúcar, Nota de coyuntura. Centro de Estudios Internacionales, Gilberto Bosques. Senado de la República, Cd de México. Disponible en: http://centrogilbertobosques.senado.gob.mx/docs/200617_Azucar_MX_EEUU.pdf (consulta: junio de 2017).
- Senties H., H. E., Gómez M., F. C., Valdez B., A., Silva R., H. V., & Trejo T., L. I. (2014). "The Agro-Industrial Sugarcane System in Mexico: Current Status, Challenges and Opportunities". *Journal of Agricultural Science*. 6: 27-54.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2016a). Información básica, agricultura, producción anual. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. México, D. F. http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/identidad/index.jsp (noviembre 2016).
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2016b). Comercio exterior, consulta por fracción arancelaria. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. México, D. F. http://w6.siap.gob.mx/comercio/con_fracciona.php (noviembre 2016).
- Si-Costos-CONADESUCA, Sistema de Información de Costos de Producción de Caña de Azúcar-Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (2016). Cotos de producción de caña de azúcar por ingenio. CONADESUCA. México, D. F. <http://www.siiba.conadesuca.gob.mx/SiCostosSustentabilidad/ConsultaPublica/ConsultaPublica.aspx?app=costos> (septiembre 2016).
- SNIIM, Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (2016). Mercados Nacionales Agrícolas. Secretaría de Economía. México, D. F. http://www.economia-sniim.gob.mx/Sniim-anANT/e_SelAzu.asp (agosto 2016).
- Takayama, T., & Judge G., G. (1971). Spatial and temporal price and allocation models. North -Holland Publishing Co. Amsterdam Holland. 528 p.
- USDA, Unites States Department of Agriculture (2017). Mexico Transport Cost Indicator Report, July 2015. Washington, D. C. 16 p. <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Mexico%20Indicators%201st%20Quarter%202015.pdf> (febrero 2017).
- WFR, World Freight Rates (2017). Calculadora de flete marítimo. Miami, Florida, USA. <http://worldfreightrates.com/es/freight> (enero 2017).