

**Banco de México**  
**Documentos de Investigación**

**Banco de México**  
**Working Papers**

**N° 2013-16**

**Estudio sobre la Competitividad de la Industria  
Azucarera en México**

**Francisco Campos-Ortiz**  
Banco de México

**Mariana Oviedo-Pacheco**  
Banco de México

Noviembre 2013

La serie de Documentos de Investigación del Banco de México divulga resultados preliminares de trabajos de investigación económica realizados en el Banco de México con la finalidad de propiciar el intercambio y debate de ideas. El contenido de los Documentos de Investigación, así como las conclusiones que de ellos se derivan, son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente las del Banco de México.

The Working Papers series of Banco de México disseminates preliminary results of economic research conducted at Banco de México in order to promote the exchange and debate of ideas. The views and conclusions presented in the Working Papers are exclusively of the authors and do not necessarily reflect those of Banco de México.

## Estudio sobre la Competitividad de la Industria Azucarera en México\*

Francisco Campos-Ortiz<sup>†</sup>  
Banco de México

Mariana Oviedo-Pacheco<sup>‡</sup>  
Banco de México

**Resumen:** En este documento estudiamos diversos rasgos estructurales clave del campo cañero y los ingenios azucareros en México. En lo concerniente al campo: (a) documentamos una relación en forma de U entre la extensión de los predios cañeros y su productividad, y mostramos evidencia sugestiva de que esta relación está determinada por el uso más intensivo de insumos en las parcelas de menor y mayor superficie relativo a las de tamaño medio; (b) planteamos que existen factores que dificultan el funcionamiento del mercado de tierras; y (c) presentamos evidencia que refuta la conjetura de que el mecanismo utilizado para determinar el pago de la caña afecta negativamente la calidad de este cultivo. En lo que respecta a los ingenios, encontramos que aquellos ingenios capaces de generar electricidad más eficientemente tienden a observar mejores rendimientos en la producción de azúcar.

**Palabras Clave:** Azúcar; Industria Azucarera; Competitividad; Caña de Azúcar; Rendimiento en Campo; Eficiencia de Fábrica.

**Abstract:** In this paper, we study various key structural features of sugarcane production and sugar mills in Mexico. Regarding the production of sugarcane: (a) we document a U-shaped relationship between the size of sugarcane cultivation plots and their yield, and show suggestive evidence that this relationship is driven by the more intensive use of inputs in smaller and larger plots relative to those of medium size; (b) we argue that there are factors that complicate the functioning of the land market; and (c) we present evidence refuting the conjecture that the mechanism used to determine payments for sugarcane affects negatively the quality of this crop. With respect to sugar mills, we find that those mills that are able to generate electricity more efficiently tend to observe higher returns in sugar production.

**Keywords:** Sugar; Sugar Industry; Competitiveness; Sugarcane; Plot Yield; Sugar Mill Efficiency.

**JEL Classification:** D23, D24, L66, Q1.

---

\*Agradecemos los comentarios, orientación y puntos de vista expresados durante las conversaciones que sostuvimos con miembros y representantes de los sectores cañero e industrial, comercializadores y autoridades gubernamentales. Este trabajo se ha beneficiado con las valiosas sugerencias de Marcelo Delajara, Santiago Guerrero, Raúl Ibarra, Miriam Juárez, José Antonio Murillo, Salvador Rodríguez, Rainer Schwabe, Eduardo Torres-Torija, Daniel Vaughan, dos dictaminadores anónimos, y participantes en los seminarios del Banco de México, la Universidad de Guadalajara, la Universidad Autónoma de Guadalajara, la Universidad Autónoma de Nuevo León, la Universidad Panamericana (campus Guadalajara), el EconLunch del Colegio de México, y la conferencia anual de la Agricultural and Applied Economics Association. Los autores asumen la responsabilidad de cualquier error en el presente documento.

<sup>†</sup>Dirección General de Investigación Económica. Email: fcampos@banxico.org.mx.

<sup>‡</sup>Dirección General de Investigación Económica. Email: mariana\_oviedo@banxico.org.mx.

# I Introducción

Un importante ingrediente para la adecuada conducción de la política monetaria consiste en el entendimiento de los factores institucionales que influyen en el proceso de formación de precios de productos y servicios relevantes para la dinámica inflacionaria. El grupo de alimentos y bebidas tiene especial relevancia dada su alta ponderación en el índice de precios al consumidor (22.5%) así como las claras implicaciones de bienestar social que conllevan las fluctuaciones en los precios de los bienes que componen este grupo. En particular, el azúcar ha cobrado notoriedad por el comportamiento de su precio en años recientes y su lugar como uno de los productos agroindustriales de mayor importancia en México. La presente investigación estudia una serie de rasgos estructurales en dos eslabones clave de la industria azucarera: el campo cañero y los ingenios azucareros. No es de nuestro conocimiento que exista algún otro estudio de la industria azucarera en México con el alcance o el rigor metodológico de esta investigación.

Primeramente estudiamos una terna de factores institucionales que inciden sobre la producción de caña de azúcar. Comenzamos examinando la relación entre la extensión de los predios cañeros y su productividad. Encontramos una relación en forma de U entre el tamaño de las parcelas y sus rendimientos. Presentamos evidencia que apunta a que esta relación ocurre a través del uso más intensivo de factores de la producción (e.g., fertilizante, sistemas de irrigación) en los predios de menor y mayor superficie comparado a las parcelas de tamaño medio—aquéllas con una superficie aproximada de ocho hectáreas.

Posteriormente discutimos la operación del mercado de tierras. Mostramos que existen factores que obstruyen el funcionamiento de este mercado al generar tanto costos de transacción como costos de oportunidad que desincentivan la participación de vendedores y compradores.

Cerramos nuestro escrutinio del campo cañero analizando el sistema utilizado para definir el pago de la caña de azúcar. Sometemos a pruebas estadísticas la conjetura de que la fórmula utilizada para determinar el precio al que se paga la caña afecta negativamente la calidad del cultivo. De acuerdo a este argumento, la fórmula desincentiva la búsqueda de mejoras a la calidad del producto al considerar la calidad promedio de toda la caña recibida por el ingenio en vez de la calidad específica de la carga de cada abastecedor. La evidencia que encontramos no ofrece sustento empírico a esta conjetura.

El segundo eslabón que exploramos corresponde a los ingenios azucareros. Investigamos el grado en que la administración (pública o privada) de los ingenios y la diversificación del portafolio de producción más allá del azúcar se asocian con la productividad de los ingenios. La evidencia indica que ni la administración de los ingenios, ni su capacidad de producir alcohol, sostienen una relación significativa

con su productividad. En contraste, aquellos ingenios capaces de generar energía eléctrica más eficientemente tienden a exhibir niveles superiores de productividad habiendo ajustado por sus requerimientos operativos de electricidad.

El resto del documento está organizado de la siguiente manera. En la siguiente sección presentamos una breve reseña sobre la producción de azúcar en México. En la Sección III describimos los datos que se utilizaron en esta investigación. La Sección IV se concentra en la producción de caña de azúcar, en tanto que la Sección V está dedicada a la discusión sobre los ingenios. En la Sección VI presentamos nuestras conclusiones.

## II Producción de azúcar en México<sup>1</sup>

La relevancia de la industria azucarera en México se hace manifiesta primeramente en su aportación al Producto Interno Bruto (PIB) de la industria alimentaria. El valor promedio de la producción de azúcar durante los ciclos 2006/07 a 2010/11 (el ciclo azucarero en México comprende del 1 de octubre al 30 de septiembre del año siguiente) fue equivalente al 2.1% del PIB de la industria alimentaria, alcanzando en 2011 un máximo de MN\$53,745 millones, o 2.4% del valor del PIB de dicha industria.<sup>2, 3</sup>

Por su parte, la contribución al PIB agrícola por parte de la caña de azúcar—cultivo a partir del cual se produce el azúcar en México—se ha ubicado en niveles promedio del 7.8% durante el periodo 2006-2011, ascendiendo en 2011 a 8.6%, equivalente a MN\$30,369 millones. Ello ubica a la caña de azúcar como el segundo producto agrícola más valioso en el país, tan sólo detrás del maíz en grano. Asimismo, la caña de azúcar constituye uno de los diez principales cultivos (entre alrededor de trescientos) a juzgar por la superficie dedicada a ésta, con una superficie cosechada ligeramente superior a las 710 mil hectáreas—circa 3.9% de la superficie total cosechada en el año agrícola 2011.<sup>4</sup>

La caña de azúcar es un cultivo que se desarrolla bajo condiciones tropicales o subtropicales. Su traslado a los ingenios azucareros no debe demorar a fin de

---

<sup>1</sup> Una descripción más extensa de la producción de azúcar en México puede consultarse en FIRA (2009, 2011).

<sup>2</sup> El PIB de la industria alimentaria representa alrededor del 4% del PIB nacional. Los cálculos elaborados con base en información del Banco de México y la Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica (CNIAA). Para el cómputo del valor de la producción de azúcar, se utilizó el precio de referencia del azúcar para la liquidación del pago de la caña publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 24 de octubre de 2011.

<sup>3</sup> El jarabe de maíz de alta fructosa (JMAF) es un producto sustituto del azúcar que ha venido aumentando su participación en el mercado nacional de edulcorantes en los últimos años. En el Anexo A1 discutimos brevemente esta situación.

<sup>4</sup> Al cierre de 2011, los diez principales cultivos en términos de la superficie cosechada fueron (en orden): maíz grano, pastos, sorgo grano, frijol, caña de azúcar, café cereza, trigo grano, avena forrajera, alfalfa verde y naranja. Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

evitar pérdidas en su calidad que a su vez afecta negativamente el volumen de azúcar que se pueda extraer. En función de estos factores, la cosecha de caña y producción de azúcar se concentra en 15 estados de la república con climas tropicales o subtropicales, entre los cuales destacan Veracruz, San Luis Potosí y Jalisco al aportar casi el 60% de la producción nacional de caña y azúcar (ver Tabla 1).

La industrialización de la caña con el fin de transformarla en azúcar se lleva a cabo en 54 ingenios, la mayoría de los cuales pertenecen a algún conglomerado de empresas azucareras. La Tabla 2 presenta un listado de los ingenios agrupados de acuerdo al conglomerado al que pertenecieron durante el ciclo 2010/11, así como la contribución de cada ingenio y grupo a la producción de azúcar nacional. Como se puede observar, el sector azucarero no se caracteriza por tener algún productor claramente dominante. Ningún ingenio aportó más de 4.5% a la producción nacional. El grupo que contribuyó mayormente a la producción total con 20.8% es el Fondo de Empresas Expropiadas del Sector Azucarero (FEESA), compuesto por los nueve ingenios que para el ciclo 2010/11 permanecían en propiedad del gobierno como resultado de la expropiación de ingenios realizada en 2001. El índice Herfindahl-Hirschman, utilizado ampliamente como una medida de concentración del mercado, toma un valor de 247.04 puntos a nivel de ingenio y de 1,091.25 puntos a nivel de grupo; en ningún caso se consideran estos valores indicativos de un mercado concentrado.

El sector azucarero juega un papel toral en la vida económica de ciertas regiones del país. Se considera una actividad de alto impacto en 227 municipios compuestos por alrededor de 12 millones de habitantes. En su conjunto, la industria azucarera genera más de 450 mil empleos (equivalente a 0.9% y 6.7% de la Población Económicamente Activa total y del sector primario, respectivamente) y beneficios directos a más de 2.2 millones de personas.<sup>5</sup>

Como componente del índice inflacionario, el azúcar recibe una ponderación (en una escala de 0 a 100 puntos porcentuales) de 0.18 en el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC, base 2010 y ponderadores vigentes a partir de la primera quincena de abril de 2013), ubicándolo como el 31<sup>er</sup> producto de mayor ponderación entre los 108 genéricos que constituyen el subíndice “Alimentos, Bebidas y Tabaco”. En el Anexo A2 documentamos la contribución del azúcar a la evolución de la inflacionaria durante la década pasada.

Como parte del Índice Nacional de Precios al Productor (INPP, base 2012), la caña de azúcar recibe una ponderación (en una escala de 0 a 100 puntos porcentuales) de 0.16, lo cual ubica a este producto como el 8<sup>o</sup> producto de mayor ponderación entre los 69 productos que componen el subíndice “Agricultura, cría y

---

<sup>5</sup> Fuentes: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2007a), e Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI).

explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza”. Por su parte, el azúcar tiene una ponderación de 0.34, ubicándose como el 27<sup>o</sup> producto de mayor ponderación entre los 361 productos que forman el subíndice “Industria Manufacturera”.

Finalmente en el plano internacional, México ocupó en 2011 la 7<sup>a</sup> posición a nivel mundial entre los países productores de azúcar (ver Figura 1) y 9<sup>a</sup> como consumidor del edulcorante (ver Figura 2).<sup>6</sup>

### **III Datos y estadísticas descriptivas**

Los datos utilizados en esta investigación se obtuvieron primordialmente de tres fuentes. Primero, las Estadísticas de la Agroindustria de la Caña de Azúcar, volúmenes 2001-2010 y 2002-2011. Esta publicación, elaborada por la Unión Nacional de Cañeros de la Confederación Nacional de Productores Rurales (UNC-CNPR), contiene información histórica y actual para cada uno de los 59 ingenios que han operado en dicho periodo. La información provista por esta fuente se enfoca en indicadores generales del volumen de producción de caña y azúcar, las características del cultivo, y diversas métricas referentes a la operación de los ingenios; empero, no proporciona información detallada de los diferentes factores que influyen en la productividad del sector (e.g., si el cultivo es de riego o de temporal, o la aplicación de fertilizantes). Este tipo de datos fueron obtenidos de una segunda fuente, el Manual Azucarero Mexicano, volúmenes 2002 a 2012, el cual es publicado por la Compañía Editora del Manual Azucarero (CEMA). Este documento contiene un acervo de información exhaustivo sobre las condiciones de la producción de caña y de azúcar, así como las características geográficas existentes en la zona donde se ubica el ingenio. No obstante la riqueza de la información contenida en los manuales, no se proporcionan los datos completos para todos los ingenios. Además, estos manuales únicamente están disponibles en medio impreso y la forma en que están presentados los datos es en su mayoría prosa, por lo que fue necesario capturar manualmente la información de cada libro.

Finalmente, se utilizó información proporcionada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para conocer la precipitación de lluvia que se presentó en las estaciones más cercanas a los ingenios. Para ello se utilizó el software ArcGIS con el que se identificaron las estaciones cercanas y posteriormente se obtuvo el total de lluvia que se registró en los 18 meses previos al inicio de la zafra, periodo

---

<sup>6</sup> Koo y Taylor (2011) estiman que en 2010 el consumo de azúcar per cápita en México habría sido de 40.5 kilogramos, cifra que se compara con 74 kg en EE.UU., 60.4 kg en Brasil, 59.8 kg en Australia, 47 kg en la Unión Europea, 39.4 kg en Canadá, 23.3 kg en Corea del Sur, 20.4 kg en Indonesia, 20 kg en India, 17.7 kg en Japón, y 11.2 kg en China.

máximo que se considera adecuado para que la caña madure lo suficiente para su cosecha (FAO, 2012; Pérez Zamorano, 2007; SAGARPA, 2010).

La Tabla 3 presenta un listado ordenado alfabéticamente de las variables utilizadas en este estudio acompañadas de su definición y fuente. La Tabla 4 muestra las estadísticas descriptivas de dichas variables durante el periodo completo de estudio (zafra 2000/01-2010/11) así como de la zafra 2010/11 a fin de mostrar la situación vigente al último ciclo para el cual disponemos de datos. La unidad de observación son los ingenios, de los cuales consideramos únicamente los 54 ingenios que operaron en cada uno de los once ciclos incluidos en este estudio.<sup>7, 8</sup>

En relación a las estadísticas de campo de mayor interés para este estudio, la Tabla 4 indica que en promedio, el sector cañero registró rendimientos de 10 toneladas de sacarosa por hectárea (ver variable “Sacarosa” en las Tablas 3 y 4) generados por la producción de 75 toneladas de caña por hectárea (variable “Caña”) cuyo contenido de sacarosa fue de 13.5% (variable “Contenido sacarosa”). Para la zafra 2010/11, la producción promedio de sacarosa por hectárea ascendió a 9.5 toneladas, resultado primordialmente de la caída de los rendimientos de campo promedio a 68 toneladas de caña por hectárea, ya que el contenido de sacarosa exhibió incluso una pequeña alza al ubicarse en 13.9%.

Como medida de la extensión de las unidades de producción de caña, consideramos el número de hectáreas cultivadas por cañero (variable “Tamaño parcela”); es decir, esta medida captura el tamaño promedio de las parcelas que abastecen a cada ingenio. La parcela promedio exhibió una superficie de 4.5 hectáreas, cifra que se mantuvo estable durante todo el periodo considerado, de tal suerte que para la zafra 2010/11 la extensión promedio ascendió a 4.7 hectáreas.

En lo relacionado al uso del factor capital, observamos que en promedio 82% de la caña fue alzada y colocada mecánicamente en vehículos que transportarían la caña del campo al ingenio (variable “Alzado mecánico”). Una medida indicativa de un uso aún más intensivo del factor capital es la proporción de caña cosechada mecánicamente, lo cual involucra tanto el cortado como el alzado mecánico de la caña; esta métrica se ubicó en un nivel promedio de 22% (variable “Cosecha mecánica”). La utilización de sistemas de riego ofrece otro indicativo de la penetración del factor capital en la producción de caña. En promedio 48% de la superficie industrializada contaba con irrigación (variable “Riego”). Cabe señalar dos observaciones adicionales. Primero, hay una alta heterogeneidad en el uso de capital entre los productores de caña. En todos estos indicadores, el rango abarcó

---

<sup>7</sup> La decisión de excluir a los ingenios de Independencia, La Concepción, San Gabriel, San Sebastián y Santo Domingo obedece al objetivo de reducir el riesgo de que nuestro análisis econométrico sufriera de sesgos generados por la cancelación de sus operaciones en algún punto del periodo estudiado; técnicamente, para evitar el llamado “attrition bias”.

<sup>8</sup> El número de observaciones difiere entre variables debido a que algunos ingenios no reportan consistentemente sus estadísticas.

tanto la utilización prácticamente nula de factores de capital como una penetración del 100%. Segundo, estas medidas presentaron tendencias relativamente constantes a lo largo de los once ciclos considerados, por lo que el uso de capital registró durante la zafra 2010/11 cifras similares al promedio de todo el periodo.

A continuación cambiamos nuestra atención a los ingenios. La Tabla 4 muestra que el proceso de re-privatización de ingenios acaecido a partir de la expropiación de 27 ingenios en septiembre de 2001 no ha concluido. Para el ciclo 2010/11 nueve (20%) de los 54 ingenios en operación continuaban aún en propiedad del gobierno, siendo administrados por el FEESA (variable “Administración ingenio”).<sup>9</sup>

Nuestra medida clave de la productividad de los ingenios es la llamada eficiencia de fábrica, la cual captura la tasa de transformación de sacarosa en azúcar; en otras palabras, es el cociente de la producción de azúcar sobre la del volumen de sacarosa industrializada. Durante el periodo 2000/01-2010/11, el ingenio promedio exhibió una eficiencia de 82.3% (variable “Eficiencia de fábrica”); es decir, obtuvo poco más de ocho toneladas de azúcar por cada diez toneladas de sacarosa. Para la zafra 2010/11, esta cifra registró un pequeño aumento al ubicarse en 82.5%. Otra métrica comúnmente utilizada para analizar la productividad de los ingenios es el rendimiento de fábrica, el cual se compone del cociente de la producción de azúcar sobre el volumen de caña molida. Como se aprecia en la Tabla 4, el ingenio promedio registró durante todo el periodo de estudio un rendimiento de 11.1% (variable “Rendimiento de fábrica”), ligeramente inferior al promedio de 11.5% del ciclo 2010/11.<sup>10</sup>

Además de ser la principal fuente de azúcar en México, la explotación de la caña permite la generación de energía eléctrica y producción de alcohol. Durante nuestro periodo de estudio, el ingenio promedio produjo 17.3 kWh por tonelada de

---

<sup>9</sup> El 23 de julio de 2012 se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el acuerdo para desincorporar del régimen de dominio público de la federación los nueve ingenios azucareros y autorizar su enajenación. El 29 de noviembre del mismo año el entonces Secretario de Agricultura, Francisco Mayorga, señaló en conferencia de prensa que el procedimiento por el que se enajenarán los ingenios será el de concurso mercantil. Éste es un proceso judicial que consta de dos etapas, la de conciliación y la de quiebra. De acuerdo con el artículo 3 de la Ley de Concursos Mercantiles, la conciliación se hace para lograr la conservación de la empresa mediante el convenio que suscriba el comerciante con sus acreedores reconocidos. La finalidad de la quiebra es la venta de la empresa, de sus unidades productivas o de los bienes que la integran para el pago a los acreedores reconocidos. En el caso de los ingenios azucareros, el gobierno depositó mil millones de pesos que corresponden al bono expropiatorio para pagar a los acreedores. En el artículo 198 de la misma ley se señala que la enajenación de los bienes deberá realizarse a través de subasta pública, la cual inicia con un precio mínimo y se entrega el bien subastado al mejor postor. Sin embargo, el artículo 207 señala que si transcurren seis meses a partir del inicio de la etapa de quiebra, y aún no se han enajenado todos los bienes, entonces cualquier persona interesada podrá presentar al juez una oferta para la compra de cualquier bien o conjunto de bienes remanentes.

<sup>10</sup> El rendimiento de fábrica considera sólo la cantidad de caña molida, ignorando su calidad (i.e., contenido de sacarosa). En consecuencia, es una medida que castiga (premia) a ingenios que reciben caña de baja (alta) calidad, haciéndolos lucir menos (más) productivos de lo que realmente son. El hecho de que la eficiencia de fábrica captura tanto la cantidad como la calidad de la caña procesada hace de esta métrica una medida más apropiada de la productividad de los ingenios, y por este motivo nos enfocamos en dicho indicador.



caña (variable “Generación electricidad”). Empero, esta cifra enmascara la tendencia creciente que se ha observado desde el ciclo 2003/04, cuando la generación promedio fue de 16.6 kWh/Ton; para la zafra 2010/11, la producción de electricidad ascendió a un máximo de 18.1 kWh/Ton.<sup>11</sup> Ello contrasta con el patrón descendente que ha registrado el aprovechamiento de la caña para la producción de alcohol durante el periodo 2000/01-2010/11. Los ingenios abrieron la década produciendo en promedio 1.2 Lts/Ton, tocaron fondo en el ciclo 2009/10 al generar 0.2 Lts/Ton, y cerraron produciendo 0.4 Lts/Ton (variable “Producción alcohol”). El promedio de todo el periodo fue 0.7 Lts/Ton.<sup>12</sup>

En lo referente al uso de energéticos, observamos que en promedio los ingenios consumieron 17 kilowatts-hora (variable “Consumo electricidad”), 8 litros de petróleo (variable “Consumo petróleo”) y 0.6 toneladas de vapor (variable “Consumo vapor”) por tonelada de caña molida. Cabe mencionar que la utilización de petróleo ha ido disminuyendo consistentemente en el tiempo hasta alcanzar un mínimo de 2.3 Lts/Ton en el ciclo 2010/11, con dieciocho ingenios prescindiendo por completo de este insumo. En el caso de la electricidad y el vapor, el uso de estos insumos se ha mantenido estable a lo largo de nuestro periodo de estudio.

Otro rubro en el que los ingenios también han observado disminuciones considerables es el de la fracción del tiempo laboral perdido por motivos misceláneos, cuyo promedio de 20% durante todo el periodo alcanzó su mínimo en el ciclo 2010/11 con 15% (variable “Tiempo perdido total”). Las mejorías en esta métrica fueron mayores cuando la pérdida de tiempo se debió a festividades o por cuestiones del campo. En ambos casos, el ingenio promedio registró pérdidas mínimas de 0.4% (variable “Tiempo perdido festividades”) y 2.4% (variable “Tiempo perdido campo”) durante la última zafra considerada.

Cabe por último señalar que como parte de la presente investigación realizamos una serie de entrevistas a diversos participantes en la industria azucarera, específicamente representantes de los grupos cañero e industrial, comercializadores y autoridades gubernamentales.

---

<sup>11</sup> Como lo explican en mayor detalle FIRA (2010) y SAGARPA (2010), la energía eléctrica es producida a partir de la combustión del residuo fibroso (llamado bagazo) que resulta de la molienda de la caña. La legislación permite a los ingenios generar la electricidad que utilizan en su proceso productivo. Para el ciclo 2010/11, a nivel nacional los ingenios azucareros satisficieron 94% de sus requerimientos operativos de energía eléctrica con generación propia.

<sup>12</sup> El alcohol que producen los ingenios es utilizado para la elaboración de bebidas y uso industrial. Los ingenios mexicanos no han incursionado en la producción de biocombustibles dado que únicamente dos ingenios (La Gloria y San Nicolás) cuentan con la infraestructura para la producción de alcohol deshidratado, el cual se mezcla con gasolina para producir combustible. A lo largo de la década pasada se ha visto una reducción gradual en el número de ingenios que producen alcohol debido a su baja rentabilidad, y por la competencia que representan las grandes destilerías que utilizan la caña exclusivamente para la producción de alcohol. La producción de etanol conlleva un costo de oportunidad en términos de la producción de azúcar (IMCO, 2007), el cual se ha visto exacerbado ante los aumentos de los precios mundial y doméstico del azúcar que se han observado a partir de 2006.

## IV El campo cañero

La sacarosa contenida en la caña de azúcar es el principal insumo para la producción de azúcar en México.<sup>13</sup> Resulta por ende menester examinar la capacidad del campo cañero mexicano de proveer este insumo a fin de lograr un mejor entendimiento de la industria azucarera.

A nivel internacional, México se ubicó en 2011 entre los diez principales productores de caña de azúcar al haber reportado una molienda de 44.13 millones de toneladas (ver Figura 3). Dicha cosecha se obtuvo a partir de la industrialización de 673 mil hectáreas, una de las mayores de la última década. Sin embargo, la producción de caña durante la zafra 2010/11 quedó distante de los máximos alcanzados durante los ciclos 2004/05-2007/08, los cuales promediaron una molienda de 48.88 millones de toneladas no obstante que la superficie industrializada se ha mantenido relativamente estable en años recientes (ver Figura 4). Estos patrones sugieren una caída en los rendimientos de la producción de caña de azúcar.

En efecto, durante 2011 la productividad en la cosecha de caña de azúcar—medida por el volumen de caña obtenida por hectárea—coloca a México lejos de los niveles alcanzados por países como Perú, Colombia o Egipto. Mientras que estos países registraron rendimientos cercanos o superiores a las 100 toneladas de caña por hectárea, en México esta métrica fue de 65.6 tn/ha (ver Figura 5), nivel que preservó la tendencia decreciente observada durante los últimos seis ciclos.<sup>14</sup> La disminución progresiva de los rendimientos en campo ha sido el principal determinante detrás de la reciente tendencia a la baja de la producción de sacarosa—tanto en términos absolutos como en rendimiento por hectárea—ya que el contenido de sacarosa en caña ha incluso mostrado un patrón alcista durante los últimos años, alcanzando un máximo de 14.1% en el ciclo 2010/11 (ver Figuras 6 y 7). En otras palabras, el deterioro del potencial del campo de proveer sacarosa que pueda ser transformada en azúcar no ha sido resultado de cambios en la calidad de la caña cosechada, sino del declive en la capacidad del campo de producir mayores volúmenes de este cultivo por hectárea.<sup>15</sup>

En esta sección estudiamos tres factores institucionales que inciden sobre la productividad del campo cañero. Primeramente analizamos la relación entre la extensión de los predios cañeros y su productividad. Posteriormente discutimos el

---

<sup>13</sup> La remolacha azucarera es el otro cultivo fuente de sacarosa. Al contrario de la caña, que sólo puede desarrollarse en zonas tropicales y subtropicales, la remolacha crece en climas templados y exhibe una alta resistencia al frío. La producción de este cultivo se concentra en países europeos y EE.UU.

<sup>14</sup> Algunas cifras presentadas a partir de esta sección no coinciden con las estadísticas descriptivas porque las segundas no ponderan por la contribución de cada unidad de observación (ingenios) a las estadísticas nacionales.

<sup>15</sup> La cantidad (toneladas de caña por hectárea) y la calidad (concentración de sacarosa) de la caña no son medidas independientes, sino que mantienen una relación positiva. En el Anexo A3 discutimos esta relación.

funcionamiento del mercado de tierras. El tercer elemento que examinamos es el sistema utilizado para definir el pago de la caña de azúcar.

#### **IV.A Extensión de predios cañeros y productividad**

En este apartado evaluamos empíricamente la relación entre el tamaño de las parcelas cañeras y sus rendimientos en la producción de sacarosa. La motivación de este análisis proviene de la apreciación compartida entre diversos participantes de la industria azucarera de que la estructura agraria en México en general, y del campo cañero en particular, caracterizada por su alta fragmentación/atomización (i.e., la alta prevalencia de unidades de producción de poco tamaño), es uno de los mayores obstáculos a la productividad del sector cañero.<sup>16</sup>

Este análisis contribuye al extenso debate que durante varios años se ha desarrollado en torno a la relación entre el tamaño de las parcelas y su productividad. Una referencia seminal es Sen (1962), quien propone la existencia de una relación inversa entre la extensión de las granjas indias y su productividad. Sen atribuye esta asociación al uso más intensivo de mano de obra en las granjas pequeñas, lo cual resulta de la mayor disponibilidad de mano de obra de familiares. A partir de esta publicación varios autores han estudiado este fenómeno en África, Asia y América Latina. Una rama de esta literatura ha encontrado evidencia apoyando la hipótesis de que los pequeños agricultores son más productivos, lo cual se justifica por factores tales como un uso más eficiente e intensivo de la tierra, mano de obra, y capital por parte de los pequeños agricultores (Ahmad y Khan Qureshi, 1999; Bardhan, 1973; Carter, 1984; Cornia, 1985; Fan y Chan-Kang, 2005) e imperfecciones en los mercados de tierra, trabajo, seguros, y crédito (Heltberg, 1998).

Bhalla y Roy (1988) refutan estos resultados argumentando que la relación inversa es generada por la omisión de variables en el modelo tales como la calidad del suelo. La evidencia presentada por Chen et al. (2011) hace eco a dicho argumento. En un tono similar, otros estudios concluyen que la relación inversa se debilita e incluso se invierte ante la presencia de un mayor uso de tecnología, mayor aplicación de fertilizantes, y otros insumos intensivos en capital. Thapa (2007) muestra que la relación inversa tiende a volverse insignificante si los agricultores tienen mejor acceso a recursos como créditos, tecnologías avanzadas, riego e información de mercados.

Existen tres estudios que sobresalen por tener una relación más cercana a nuestro análisis. Primero, el exhaustivo estudio que Pérez Zamorano (2007) realiza de la producción de caña en el valle de Matamoros, Puebla. Una de las tesis

---

<sup>16</sup> La alta fragmentación del campo ha sido identificada como una de las características estructurales de mayor relevancia para el sector agrícola en México (Fernández y Fernández, 1946; Artís Espriu, 1997; Warman, 2003; SAGARPA, 2007b).

principales de dicho trabajo es que un campo cañero altamente atomizado socava su productividad al dificultar: (i) el acceso a financiamiento para la adquisición de insumos, maquinaria y equipo, y la renovación de las plantaciones, entre otros; (ii) la administración de recursos acuíferos; y (iii) la utilización eficiente de la mano de obra. Nuestro trabajo se distingue de este estudio primordialmente por la explotación que realizamos de datos longitudinales de los sectores cañero e industrial, en tanto que el análisis de Pérez Zamorano se basa en el método (cualitativo) de estudio de caso.

Por tratarse del agro mexicano, el segundo estudio estrechamente relacionado al nuestro es el de Kagin et al. (2012), quienes explotan un panel de datos a nivel de parcelas obtenidos de la Encuesta Nacional de Hogares Rurales de México. Tanto el trabajo de Kagin et al. como el nuestro aportan a una prácticamente inexistente literatura sobre la relación entre la extensión de las parcelas y sus rendimientos en el contexto del campo mexicano (lo cual a su vez ha devenido por la carencia de datos para llevar a cabo este tipo de estudios). Kagin et al. encuentran que los predios pequeños son más productivos y operan más eficientemente que los de mayor tamaño. Los resultados que aquí presentamos se alinean con los de estos autores para el caso de parcelas suficientemente pequeñas. Ello es complementado con nuestro hallazgo de que a partir de un tamaño crítico, la extensión de los predios cañeros se asocia positivamente con sus rendimientos.

El tercer estudio que guarda una relación cercana al nuestro es el análisis de Helfand y Levine (2004) sobre los determinantes de la eficiencia productiva en el campo cañero brasileño. Estos investigadores presentan evidencia de una relación en forma de U entre eficiencia y el tamaño de las granjas, la cual atribuyen al hecho de que los grandes productores tienen acceso preferencial a instituciones, servicios (e.g., red eléctrica, asistencia técnica, canales de comercialización) y tecnologías que coadyuvan a mejorar su productividad. Similar a Helfand y Levine, nosotros documentamos una relación en forma de U entre la extensión de las parcelas cañeras y sus rendimientos. A diferencia de estos autores, encontramos que la relación aludida se disipa una vez que controlamos por la utilización de ciertos factores de capital.

La Figura 8 ofrece una primera ilustración de la relación en forma de U entre el tamaño de los predios cañeros y la producción de sacarosa por hectárea alcanzada por los abastecedores de caña durante las zafras 2000/01 a 2010/11. Con el fin de dar un sustento más robusto a esta impresión visual, en la Figura 9 presentamos la regresión no paramétrica de los rendimientos de sacarosa por hectárea sobre el tamaño de las parcelas cañeras. El resultado de este ejercicio refuerza la idea de una asociación en forma de U entre estas variables, la cual examinamos econométricamente a continuación.

Una estrategia parsimoniosa que captura dicha asociación no monotónica radica en estimar la ecuación

$$\begin{aligned} \text{sacarosa}_{ist} = c + \beta_1(\text{tamaño parcela}_{ist}) + \beta_2(\text{tamaño parcela}_{ist})^2 \\ + X'_{ist}\delta + \varphi_t + \varphi_s + u_{ist}, \end{aligned} \quad (1)$$

donde  $\text{sacarosa}_{ist}$  representa la producción de sacarosa por hectárea alcanzada por los abastecedores del ingenio  $i$  ubicado en el estado  $s$  durante el ciclo  $t = 2000/01, \dots, 2010/11$ ;  $c$  es una constante;  $\text{tamaño parcela}_{ist}$  denota el tamaño promedio de las parcelas productoras de caña de azúcar que abastecen al ingenio  $i$ ;  $X_{ist}$  es un vector de controles;  $\varphi_t$  y  $\varphi_s$  representan efectos fijos de los ciclos y estados, respectivamente; y  $u_{ist}$  es el término residual. Tanto las variables de control como los efectos fijos son introducidos gradualmente en las diversas especificaciones que consideramos. Los coeficientes de interés son  $\beta_1$  y  $\beta_2$ .<sup>17, 18</sup>

La Tabla 5 presenta los resultados de las estimaciones de (1). La primera columna muestra las estimaciones de nuestra especificación más simple, la cual sólo incluye (además del intercepto) los términos lineal y cuadrático de nuestra medida de la extensión de las unidades de producción de caña. Los resultados confirman la relación en forma de U entre el tamaño promedio de las parcelas y los rendimientos de sacarosa que se aprecia en las Figuras 8 y 9, e indican que el tamaño crítico de las parcelas a partir del cual se observa una relación positiva entre estas variables es de 8.3 hectáreas.

Una primera extensión de esta especificación base consiste en examinar si la relación se mantiene a lo largo de los ciclos que comprenden este análisis. Ello se logra con la inclusión de variables dummy por cada zafra. En efecto, la columna (2) muestra que la asociación no monotónica se mantiene aún con la inclusión del efecto fijo por zafra de tal forma que el tamaño crítico de las parcelas disminuye marginalmente a 8.2 hectáreas. Asimismo se puede argumentar que existen condiciones que los productores cañeros de algún estado  $s$  comparten (e.g., marco institucional, geografía, etc.) que pudiesen afectar su productividad. Para capturar dicho efecto incluimos dummies por estado, lo cual arroja las estimaciones que se exhiben en la columna (3). Observamos que la relación en forma de U es también

---

<sup>17</sup> La ecuación (1) excluye el efecto fijo por ingenio porque su inclusión generaría problemas de identificación debido a que la variable de interés, el tamaño de los predios cañeros, carece de suficiente varianza a lo largo del tiempo. (El caso extremo de este problema es cuando la variable es constante en el tiempo, en cuyo caso dicha variable es eliminada por completo de la regresión.) Por ende, nuestros resultados se derivan principalmente de la heterogeneidad transversal entre ingenios. Los errores estándar son agrupados por municipio a fin de atender la posibilidad tanto de correlación espacial como de correlación serial (los 54 ingenios están distribuidos en 49 municipios).

<sup>18</sup> La carencia de datos para algunos ingenios en diversas zafras (lo cual se ve reflejado en la disparidad de  $N$  entre las diferentes especificaciones) nos fuerza a imponer el supuesto de que la falta de observaciones no responde a patrón alguno habiendo condicionado por las variables explicativas de nuestro modelo. La aparente aleatoriedad con la que dejamos de tener algunas observaciones, así como la extensa gama de controles que incluimos, nos da confianza de que éste es el caso.

robusta a la inclusión del efecto fijo por estado; a pesar de que la estimación de los coeficientes cambia en magnitud, el tamaño crítico de parcelas se mantiene cercano a la especificación original al ubicarse en 8.1 hectáreas.

En las especificaciones subsecuentes procedemos a introducir gradualmente las variables de control. Primeramente controlamos por la precipitación pluvial y la administración de los ingenios (privada vs. gubernamental). La columna (4) muestra que la asociación en forma de parábola se preserva bajo esta especificación, sugiriendo un tamaño crítico de las parcelas de 8.6 hectáreas.

A continuación incluimos controles relacionados a la utilización de insumos. La columna (5) presenta evidencia de que la relación en forma de U se conserva aun cuando controlamos por el uso de fertilizantes, e indica un tamaño crítico de las parcelas de 8.7 hectáreas.<sup>19</sup> En la siguiente especificación incluimos controles relacionados al alzado mecánico de la caña, el número de vehículos que transportan la caña del campo al ingenio, y el número de cortadores. Bajo esta especificación encontramos una primera indicación de que la introducción de insumos puede hacer redundante el efecto de la extensión de las parcelas sobre los rendimientos de sacarosa. Como se aprecia en la columna (6), se mantiene la relación convexa entre tamaño y rendimientos, aunque el término cuadrático pierde su significancia estadística.<sup>20</sup> La superficie de las parcelas se vuelve completamente redundante una vez que controlamos por el uso de sistemas de riego (columna (7)) o la cosecha mecánica de la caña (columna (8)), variables que aparecen positivamente relacionadas con los rendimientos de sacarosa. Nuestras estimaciones sugieren que un incremento de diez puntos porcentuales en la superficie de cultivo con sistema de riego, o en la fracción de caña cosechada mecánicamente, puede aumentar la producción de sacarosa por hectárea promedio en aproximadamente 4%. Las columnas (9) y (10) confirman la redundancia del tamaño de las unidades productivas bajo nuestras especificaciones más completas que incluyen toda la batería de variables de control.

Como se mencionó anteriormente, el efecto fijo del estado podría estar capturando condiciones geográficas relevantes para la productividad del campo. A fin de evaluar esta hipótesis, sustituimos el efecto fijo del estado por la altitud sobre el nivel del mar de los ingenios, la cual es una medida más precisa de las condiciones geográficas que enfrentan las parcelas cañeras. Las columnas (11) a (13) corroboran nuestros resultados, a saber, la relación en forma de U se preserva en tanto no se incluyan controles sobre la utilización de sistemas de irrigación o cosecha mecánica. De otra forma, la extensión de los predios cañeros se vuelve

---

<sup>19</sup> La inclusión del término cuadrático de la variable de fertilizantes es resultado de pruebas que indican que la inclusión de dicho término es una mejora estadísticamente significativa sobre los modelos que únicamente incluyen el término lineal de la variable en cuestión.

<sup>20</sup> Este resultado se obtiene únicamente al usar conjuntamente los controles de alzado mecánico, vehículos y cortadores. La inclusión por separado de estas variables conserva la dirección y significancia estadística a niveles convencionales de los coeficientes de interés. (Omitimos mostrar estos resultados para ahorrar espacio.)

redundante. Asimismo, estos resultados indican que una mayor altitud tiene efectos benéficos sobre los rendimientos de sacarosa. Parcelas ubicadas a una altitud adicional de 100 metros pueden esperar tener mayores rendimientos de sacarosa de entre 2 y 3%.

Los resultados de la Tabla 5 también apuntan en su conjunto a que el tipo de propiedad de los ingenios no incide significativamente en la productividad del campo.<sup>21</sup> Una situación similar se presenta con las variables de alzado mecánico, vehículos y cortadores. Asimismo, observamos evidencia mixta en lo referente a la relación entre lluvia y los rendimientos de sacarosa.<sup>22</sup> La dirección de los coeficientes correspondientes al uso de fertilizantes apuntan a una relación convexa con la productividad de campo; empero, la falta de robustez de este resultado levanta sospechas de dicha relación.<sup>23</sup>

En el Anexo A4 sometemos a pruebas de robustez la forma funcional de la ecuación (1) así como los principales resultados presentados en la Tabla 5. Demostramos que la inclusión del término cuadrático constituye una mejora estadísticamente significativa sobre el modelo que sólo incluye el componente lineal en aquellas especificaciones que no controlan por la utilización de insumos. Bajo las especificaciones que contienen controles sobre el uso de insumos, tanto el término lineal como el cuadrático pierden su relevancia. Asimismo, nuestros resultados son robustos a la exclusión de observaciones que pudieran considerarse atípicas—i.e., los ingenios La Primavera (PRI) y El Higo (HIG)—así como a la estimación de (1) ponderando por el volumen de caña industrializada o el volumen de azúcar producida.

¿Cómo se pueden racionalizar estos resultados? La extensión de los lotes cañeros no es por sí misma un determinante de la productividad del campo, sino que ejerce indirectamente su influencia a través de la generación de un ambiente más conducente al uso de insumos que inciden directamente sobre los rendimientos de sacarosa. El hecho de que el efecto del tamaño de los predios sobre los rendimientos de sacarosa se vuelva redundante una vez que incluimos controles sobre la utilización de insumos indica que el mecanismo de dicho efecto opera a

---

<sup>21</sup> Aun cuando las columnas (12) y (13) señalan que los proveedores de ingenios privados registran en promedio menores rendimientos de sacarosa, la carencia de resultados similares bajo otras especificaciones evita que derivemos conclusión alguna.

<sup>22</sup> Nótese que la relación negativa entre lluvia y productividad (aun en los casos en que carece de significancia estadística) emerge cuando omitimos el control de riego, y se vuelve positiva cuando el riego es incluido. Ello sugiere que es en zonas que reciben menos precipitación donde los sistemas de irrigación se vuelven más necesarios. En estas zonas, una mayor precipitación es más proclive a impulsar una mayor productividad del campo. En contraste, en las zonas que reciben naturalmente altas cantidades de lluvia, una mayor precipitación puede incluso tener consecuencias adversas al provocar inundaciones por ejemplo.

<sup>23</sup> Pueden ser varias las razones por las que no encontramos evidencia más contundente sobre la relación entre el uso de fertilizantes y los rendimientos de sacarosa. Por ejemplo, nuestra variable da cuenta de la cantidad de fertilizante aplicada en una primera dosis, ignorando el tipo de fertilizante que las características de cada suelo demanden o las aplicaciones subsecuentes; nuestra medida tampoco captura si el fertilizante es aplicado correctamente.

través del impacto de estos factores, siendo el sustento empírico particularmente robusto para el caso del riego.

Bajo este argumento, el siguiente paso natural es analizar la relación entre la escala promedio de las parcelas y la utilización de los diversos factores de producción que hemos considerado. Con este ejercicio buscamos tener un mejor entendimiento del porqué de la relación en forma de U entre el tamaño de los predios cañeros y su productividad. Para ello estimamos regresiones similares a la ecuación (1), con la diferencia de que las variables dependientes son la dosis de fertilizante; la fracción de caña alzada mecánicamente; la disponibilidad de vehículos de transporte, cortadores, e irrigación; y la proporción de caña cosechada mecánicamente. Los regresores de interés son los términos lineal y cuadrático del tamaño promedio de las parcelas; en cada caso estimamos primeramente la regresión usando el término lineal únicamente y después ambos términos. Como variables de control incluimos la precipitación, la administración del ingenio, y los efectos fijos de la zafra y el estado.

La Tabla 6 muestra los resultados del ejercicio. Las primeras dos columnas dan evidencia de una relación en forma de U entre el tamaño de las parcelas y el uso de fertilizantes, con una escala crítica de las parcelas de 6.7 hectáreas. El segmento positivo de la relación se puede explicar con un argumento de economías de escala; i.e., el costo medio del fertilizante disminuye conforme aumenta su cantidad demandada, lo cual hace más redituable la inversión en este insumo cuando se adquiere en mayores cantidades (para satisfacer los requerimientos de predios de mayor superficie) que en cantidades pequeñas. La parte negativa pudiera justificarse como sigue. Al ser poco—o nulamente—rentable la inversión en fertilizantes, los administradores de parcelas chicas utilizarían una cantidad insuficiente de este insumo. En este contexto, parcelas de una mayor dimensión (pero aún más pequeñas del tamaño crítico) estarían recibiendo menos fertilizante por hectárea dado que la diferencia en la superficie superaría el cambio en la disponibilidad del insumo.<sup>24</sup>

Las columnas (3) y (4) sugieren una asociación no significativa entre la superficie de las parcelas y la fracción de caña alzada mecánicamente. Una razón posible detrás de esta (aparentemente) nula relación es que el alzado mecánico de la caña es un servicio que se puede rentar por un monto proporcional a la superficie de la parcela, lo cual impide el aprovechamiento de las economías de escala que parcelas de mayor tamaño generan.

---

<sup>24</sup> Bajo un supuesto de monotonicidad (que nuestra evidencia refuta), Pérez Zamorano (2007) señala que el tamaño pequeño de las parcelas desincentiva la compra de fertilizante dado que los requerimientos de este insumo se ubican por debajo de la cantidad considerada de mayoreo que permite acceder a un precio por tonelada más accesible.



Por otra parte, la escala de las parcelas aparece negativamente relacionada al número de vehículos de transporte disponibles por hectárea (columnas (5) y (6)). En su estudio cualitativo del caso del valle de Matamoros, ubicado en el estado de Puebla, y donde se localiza el ingenio Atencingo, Pérez Zamorano (2007) sugiere una explicación plausible, a saber, que el cargamento de cada abastecedor de caña debe pesarse por separado en el ingenio a fin de determinar sin ambigüedades el pago correspondiente a cada proveedor. Esta situación implica naturalmente que entre mayor sea la atomización del campo, mayor es el número de cañeros, y consecuentemente mayor el número de vehículos utilizados para transportar la caña al ingenio.

La columna (8) exhibe una relación convexa entre la superficie promedio de las parcelas y la utilización de cortadores por hectárea, con un tamaño crítico de las parcelas de 12 hectáreas. El hecho de que dicha escala crítica se ubique en niveles superiores a la gran mayoría de nuestras observaciones implica que el segmento negativo de la curva domina la relación, situación que se refleja en el coeficiente del término lineal que aparece en la columna (7). Este resultado pudiera ser visto como consistente con aquellos estudios que argumentan que los pequeños agricultores tienden a usar más intensivamente el factor trabajo (vide supra). Otra fuente probable de este resultado proviene de la mayor dificultad de planear una asignación más eficiente de las cuadrillas de cortadores en un campo altamente fragmentado—situación que igualmente conlleva mayores variaciones en los tiempos óptimos de cosecha—por lo que simplemente se opta por contar con un número superior de cortadores.

Las columnas (9) y (10) sugieren que una mayor intensidad de las precipitaciones recibidas en el área colindante a los ingenios reduce el uso de sistemas de irrigación al hacerlos menos necesarios. Nuestras estimaciones indican que un incremento de 10% en la acumulación de lluvia promedio conlleva una menor utilización de sistemas de riego en 5 puntos porcentuales. Vale la pena señalar que aun cuando el tamaño de las parcelas aparece relegada a un papel secundario en las dos especificaciones consideradas, una inspección de la evidencia revela que esto es en gran parte resultado del efecto fijo de los estados.<sup>25</sup> Al excluir este efecto fijo, encontramos una relación estadísticamente significativa en forma de U, con un tamaño crítico de las parcelas de 6.9 hectáreas (las tablas están disponibles a petición del lector).<sup>26</sup>

---

<sup>25</sup> Ello puede derivar si por ejemplo los gobiernos estatales cuentan con políticas (e.g., subsidios, créditos blandos) que le faciliten a los productores de caña del estado la adquisición de sistemas de riego independientemente del tamaño de sus parcelas. De ser éste el caso, el tamaño se volvería un factor irrelevante, lo cual podría estar determinando la falta de significancia de los coeficientes de interés.

<sup>26</sup> Los sistemas de irrigación representan el caso típico de un factor de capital que no es posible rentar (por no ser un factor móvil) y cuya adquisición conlleva altos costos fijos que sólo pueden ser recuperados si se cuenta con una escala mínima.

Las últimas dos columnas tienen como variable dependiente a la fracción de caña cosechada mecánicamente. La columna (11) presenta evidencia de una relación positiva entre el tamaño promedio de las parcelas y el grado de mecanización de la cosecha. Nuestra estimación señala que parcelas de una escala más grande en una hectárea exhiben una mayor mecanización en su labor de cosecha de 1.5 puntos porcentuales, equivalente al 7% del promedio.<sup>27</sup> Este resultado no se mantiene ante la introducción del término cuadrático, como se observa en la columna (12). Sin embargo, un par de pruebas estadísticas indican que la especificación lineal captura razonablemente bien la relación entre estas variables, haciendo innecesaria la inclusión del término cuadrático. En efecto, tanto una prueba de cociente de verosimilitud ( $\chi_1^2 = 0.1$ ,  $p = 0.75$ ) como de Wald ajustada por heteroscedasticidad ( $F_{1,40} = 0.03$ ,  $p = 0.86$ ) evitan que rechacemos la hipótesis nula de que la inclusión del término cuadrático no representa una mejora estadísticamente significativa sobre el modelo que excluye dicho término. La nula ganancia que se logra en el poder explicativo de la regresión ofrece sustento adicional al argumento que la especificación lineal es suficiente.

Estos resultados complementan el argumento derivado de la Tabla 5—la relación no monotónica entre el tamaño de los predios cañeros y su productividad opera a través del uso de insumos. No obstante la carencia de resultados de contundencia incuestionable, en su conjunto la evidencia presentada en la Tabla 6 sugiere que las parcelas de menor y mayor tamaño utilizan más intensivamente factores de la producción comparado a las parcelas de tamaño medio (aquellas con una superficie cercana a ocho hectáreas), lo cual repercute para que las parcelas pequeñas y grandes presenten mayores rendimientos que las de tamaño medio. En particular, las parcelas de menor tamaño tienden a utilizar más intensivamente fertilizantes, mano de obra y sistemas de riego; las parcelas de mayor superficie tienden a utilizar más intensivamente fertilizantes, irrigación y maquinaria de cosecha.

La generación de economías de escala que vuelvan redituable la inversión en factores de producción se puede aludir como una explicación plausible detrás de la mayor utilización de insumos en parcelas de mayor superficie.<sup>28</sup> Este mismo argumento puede inclusive ser extendido a un escenario de un campo altamente atomizado dado que una de las principales razones por las que la fragmentación de

---

<sup>27</sup> Pérez Zamorano (2007) señala tres razones por las que una estructura minifundista inhibe una mayor mecanización del campo. Primero, el costo es prohibitivo relativo a la ganancia que se le puede extraer por explotar una parcela pequeña. Segundo, la maquinaria tiene usualmente una capacidad que supera los requerimientos de un minifundio. Y tercero, la reticencia a mecanizar labores del campo que sustituya el trabajo manual realizado por jornaleros (incluidos familiares en algunos casos).

<sup>28</sup> Aparte de los mayores incentivos a la inversión en capital, Pérez Zamorano (2011) discute otros mecanismos (no explorados en esta investigación) a través de los cuales la consolidación de la tierra en parcelas de mayor tamaño incide positivamente sobre el desarrollo del agro mexicano. Este autor argumenta que la explotación de unidades productivas de mayor extensión facilita el acceso al crédito y a canales más eficientes de comercialización. Aunado a ello, los subsidios a la producción son menos propensos a acabar siendo subsidios al consumo, y se reduce el impacto ambiental de la actividad agrícola así como los riesgos de conflictos agrarios.

la tierra se ha mantenido (en algunos casos incluso exacerbado) radica en la división y repartición de predios entre los hijos(as) de los cañeros (Pérez Zamorano, 2007). En este contexto, observaríamos parcelas pequeñas contiguas cuyos administradores son parientes, lo cual produce capital social que a su vez facilita la consolidación de facto de los predios a fin de generar economías de escala. Otros mecanismos a través de los cuales se pudiera estar fomentando la consolidación de facto de las parcelas cañeras radican en la renta de lotes y otros esquemas de asociación entre pequeños propietarios.

Un factor adicional que también pudiera estar incidiendo sobre la utilización más intensiva de insumos en los predios de menor y mayor extensión se deriva a partir de que los productores medianos no cuentan con los apoyos (e.g., subsidios) que los pequeños productores reciben para la adquisición de insumos, ni poseen la misma capacidad financiera que los grandes productores tienen para el mismo fin.

## **IV.B Operación del mercado de tierras**

Según lo documenta Appendini (2010), alrededor del 60% de la superficie cubierta por predios agrícolas en México operan bajo un régimen de tenencia comunal (ejido o comunidad). Por consiguiente, cualquier discusión sobre el mercado de tierras agrícolas debe concentrarse en el marco legal que define la operación del mercado de tierras comunales. En este apartado mostramos que existen factores legales y extra-legales que complican el libre funcionamiento de este mercado.

Posterior a la Revolución Mexicana, y hasta 1992, las tierras comunales fueron por disposición constitucional propiedad de la nación. Durante este periodo la venta o renta de los predios ejidales estaba prohibida con el fin de mantenerlos ligados a la comunidad. La herencia de la tierra era permitida, pero ésta continuaba siendo propiedad del Estado (OCDE, 1997). A partir de la reforma del artículo 27 constitucional llevada a cabo en 1992, se permite modificar el sistema de propiedad ejidal para transformarlo en propiedad privada y así propiciar la enajenación de las parcelas.<sup>29</sup> Ello con el objeto de impulsar el mercado de tierras en el cual éstas servirían como un activo que pudiese ser usado como garantía para el crédito (Yúnez Naude, 2010). Conceptualmente, el mercado de tierras promovería la consolidación de predios agrícolas en unidades productivas de mayor extensión al facilitar la asignación y explotación más eficiente de este recurso.<sup>30</sup> Sin embargo, la reforma se ha quedado corta en alcanzar las metas que se pretendían

---

<sup>29</sup> Una descripción y discusión exhaustivas de la reforma de 1992 pueden ser consultadas en Appendini (2010) y Pérez Zamorano (2007).

<sup>30</sup> La Ley Agraria contempla otras vías alternativas a la enajenación para fomentar la conjunción de parcelas en unidades productivas de mayor superficie: asociarse con fines productivos (artículos 45 y 50); concesión a otros ejidatarios o terceros del uso o usufructo, mediante aparcería, mediería, asociación, arrendamiento o cualquier otro acto jurídico no prohibido por la ley (artículo 79); y transmitir el dominio de tierras de uso común a sociedades mercantiles o civiles en las que participen el ejido o los ejidatarios, lo cual requiere de la autorización de la asamblea ejidal (artículo 75). Ninguno de estos procedimientos implica que la persona pierda su calidad de ejidatario.

de tal suerte que la fragmentación del campo mexicano persiste al día de hoy.<sup>31</sup> Appendini (2010) encuentra que para 2007, solo 4.4% de tierras ejidales/comunales se habían transformado a propiedad privada.

Se pueden citar tres importantes motivos detrás de estos resultados. Primero, las barreras a la entrada del mercado de tierras que enfrentan compradores potenciales que sean ajenas al ejido. El primer paso del procedimiento de cambio de régimen de propiedad de la tierra ejidal a propiedad privada consiste en la regularización de los derechos de propiedad. Ello se realizó bajo el Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares (PROCEDE), cuyo protocolo se ilustra en la Figura 10.<sup>32</sup> La certificación de la propiedad comunal es condición sine qua non para que las parcelas puedan ser enajenadas, que sin embargo no garantiza el dominio pleno de los ejidatarios/comuneros sobre sus parcelas (artículo 81 de la Ley Agraria)—sólo el 7% de la propiedad comunal certificada había adoptado el régimen de dominio pleno que sí confiere a los ejidatarios/comuneros la facultad de enajenar sus parcelas (Appendini, 2010). Una limitante al ejercicio del dominio pleno sobre las parcelas, y por ende al ágil funcionamiento del mercado de tierras, deriva de que la venta de lotes a personas ajenas al ejido está supeditada a la autorización de la asamblea ejidal y al derecho de preferencia (conocido como “derecho del tanto”) para familiares, personas que hayan trabajado las parcelas por más de un año, ejidatarios, vecindados y el núcleo de población ejidal (ver Sección Sexta de la Ley Agraria, artículos 81 y 84).<sup>33</sup> Con estas disposiciones, la ley impone a personas ajenas al ejido barreras a la entrada en el mercado de tierras.

La falta de certidumbre jurídica en torno a la propiedad de las parcelas es plausiblemente una segunda explicación detrás del efecto limitado de la reforma. Este tema surgió recurrentemente en nuestras entrevistas con diversos partícipes en la industria azucarera. Entre las anécdotas que nuestros interlocutores compartieron, podemos citar situaciones en las que los nuevos propietarios sufrieron la invasión de sus predios y recibieron una respuesta insatisfactoria por parte de las

---

<sup>31</sup> De acuerdo a la Encuesta Nacional de Hogares Rurales de México (ENHRUM) de 2002, la superficie promedio de los predios cuyo cultivo es el algodón es de 14 hectáreas, arroz 2.5 ha, café 1.2 ha, caña de azúcar 4.2 ha, cebada y avena 3.2 ha, frijol 1.9 ha, hortalizas 1.6 ha, maíz 1.9 ha, naranja 1.7 ha, sorgo 3.7 ha, soya 8 ha, tabaco 1.5 ha, y trigo 1.7 ha.

<sup>32</sup> PROCEDE operó de 1993 a 2006, cuando concluyó habiendo certificado el 95% de los núcleos agrarios comunales. Posterior al PROCEDE, se implementaron los programas de Fomento a la Organización Agraria (FOMAR) y el Fondo de Apoyo a Núcleos Agrarios sin Regularización (FANAR). El FOMAR se concentra en mediar en conflictos agrarios que habrían evitado la regularización de esos predios bajo PROCEDE. El FANAR asiste a ejidos y comunidades no certificados que busquen regularizar su situación. Ver Appendini (2010).

<sup>33</sup> El artículo 80 de la Ley Agraria concede la facultad de enajenar sus derechos parcelarios a otros ejidatarios o vecindados del mismo núcleo de población sin necesidad de la aprobación de la asamblea ejidal, aunque este artículo sí preserva el derecho del tanto al cónyuge, concubina o concubinario y los hijos del enajenante.

autoridades; o casos en que las autoridades ejidales autorizaban la venta de la misma parcela en múltiples ocasiones.<sup>34</sup>

Un tercer factor que obstaculiza la operación del mercado de tierras radica en el hecho de que, además del tabaco, la caña de azúcar es el único cultivo que permite a los productores y sus dependientes económicos acceder a la seguridad social—atención médica y el derecho a una pensión—bajo el régimen obligatorio del Instituto Mexicano del Seguro Social, IMSS (artículos 12 y 236 de la Ley del Seguro Social).<sup>35, 36</sup> Para recibir los servicios de seguridad social, el productor cañero debe realizar sus aportaciones al IMSS y mantener su condición de agricultor cañero independientemente del tamaño de su parcela cultivada (los jornaleros también son elegibles durante el periodo de zafra). Esta característica del sector cañero dificulta el funcionamiento del mercado de tierras ya que genera incentivos para que los productores busquen conservar en todo momento parte o la totalidad de sus parcelas y con ello su estatus de cañeros. Puede incluso argumentarse que este distintivo del sector cañero fomenta una mayor atomización de los predios dado que: (a) los productores cañeros buscarían que sus descendientes tengan igualmente acceso a la seguridad social, lo cual se lograría subdividiendo la parcela; o (b) en caso de que el agricultor decida cambiar de cultivo, existen incentivos para mantener una fracción de la parcela produciendo caña.

#### **IV.C Sistema de pago de la caña de azúcar**

La caña de azúcar es un cultivo que se paga de acuerdo al procedimiento establecido en la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (LDSCA), el cual describimos en mayor detalle en el Anexo A5. Aun cuando la LDSCA contempla el pago de la caña por calidad uniforme así como el pago de la caña por calidad individual o por grupo (Art. 62 de la LDSCA), el método más utilizado es el pago por calidad uniforme según lo señala uno de nuestros interlocutores en el

---

<sup>34</sup> Un factor adicional que surgía repetidamente en nuestras entrevistas que podría incidir negativamente sobre la operación del mercado de tierras es la cultura de apego al campo. Elizondo Mayer-Serra (2011) también menciona que el desconocimiento por parte de los ejidatarios sobre el proceso a seguir para modificar el régimen de tenencia de sus tierras pudiera estar coadyuvando a mantener predios fuera del mercado.

<sup>35</sup> La Ley del Seguro Social establece dos regímenes de seguridad social, uno obligatorio y otro voluntario (Art. 6). Aun cuando ambos regímenes proveen los mismos servicios, el régimen obligatorio recibe prioridad sobre el voluntario. Por ejemplo, no procede el aseguramiento voluntario cuando de manera previsible éste pueda comprometer el equilibrio financiero del IMSS o la eficacia de los servicios que proporciona a los asegurados bajo el régimen obligatorio (Art. 226); o se autoriza al IMSS establecer plazos de espera para el disfrute de las prestaciones en especie del seguro de enfermedades y maternidad (Art. 225). Los productores de cultivos diferentes al tabaco y la caña pueden únicamente enrolarse en el régimen voluntario.

<sup>36</sup> Como lo explica Pérez Zamorano (2007), la recaudación de las cuotas al IMSS es llevada a cabo por las organizaciones cañeras o los ingenios deduciendo la aportación del cañero de su pago final por la caña entregada al ingenio. La deducción equivale al 25% de la aportación del cañero al IMSS. El resto de la cuota es cubierta por el ingenio (50%) y el gobierno (25%). El Presupuesto de Egresos de la Federación, dentro del Programa Especial Concurrente (PEC) considera en el Ramo 19 una partida presupuestal para la Seguridad Social de los Cañeros. Con este presupuesto los cañeros reciben un subsidio en las cuotas que pagan anualmente. Dicho subsidio no está disponible para ningún otro cultivo.

sector cañero.<sup>37</sup> En este contexto, se puede argumentar que el sistema que rige el pago de la caña genera incentivos perversos que incitan el oportunismo (free-riding) entre los agricultores cañeros. Ello porque la fórmula no les permite apropiarse por completo de los beneficios generados por sus esfuerzos en mejorar la calidad de su cultivo, sino que dichos beneficios se distribuyen entre todos los abastecedores al mejorar el promedio de la calidad de la caña que recibe el ingenio (Pérez Zamorano, 2007). De acuerdo a este razonamiento, el sistema que rige el pago de la caña incide negativamente sobre la calidad de la caña al desincentivar a los cañeros a buscar mecanismos que mejoren su cultivo.<sup>38</sup> A continuación sometemos esta conjetura a pruebas empíricas examinando la relación entre el número de abastecedores cañeros y la calidad promedio de la caña recibida por los ingenios (medida por su concentración de sacarosa). Evidencia en favor de la hipótesis se observaría a manera de una asociación negativa entre estas variables.

La Figura 11 ofrece una primera ilustración de la asociación no lineal entre el número de abastecedores cañeros y la calidad de la caña, misma que es confirmada a través de la regresión no paramétrica que se muestra en la Figura 12. Una manera sencilla de evaluar econométricamente dicha relación que tome en cuenta la no linealidad de la relación sugerida en la Figura 12 es estimando diversas especificaciones del siguiente polinomio de cuarto grado:

$$\text{contenido sacarosa}_{ist} = c + \sum_{k=1}^4 \beta_k (\text{cañeros}_{ist})^k + X'_{ist} \delta + \varphi_t + \varphi_s + u_{ist}, \quad (2)$$

donde  $\text{contenido sacarosa}_{ist}$  denota la concentración de sacarosa en la caña cosechada por los abastecedores del ingenio  $i$  localizado en el estado  $s$  durante el ciclo  $t = 2000/01, \dots, 2010/11$ ;  $c$  es una constante;  $\text{cañeros}_{ist}$  es el número de abastecedores cañeros del ingenio  $i$ ;  $X_{ist}$  es un vector de variables de control;  $\varphi_t$  y  $\varphi_s$  representan efectos fijos de los ciclos y estados, respectivamente; y  $u_{ist}$  es el término de error. La conjetura a evaluar implicaría que  $\beta_1 < 0$  y  $\beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$ .<sup>39</sup>

La Tabla 7 muestra los resultados de las regresiones. El Panel A presenta las estimaciones del modelo que únicamente incluye el término lineal de la variable  $\text{cañeros}$ , en tanto que el Panel B exhibe las estimaciones del polinomio de cuarto grado. El Panel C muestra los controles que se incluyeron en cada especificación; por ejemplo, los efectos fijos de los ciclos y estados fueron incluidos en las estimaciones que aparecen en las columnas (A2) y (B2).

<sup>37</sup> Previo a la LDSCA (promulgada en 2005), el pago uniforme de la caña había sido implementado bajo el amparo del decreto por el que se declaraba de interés público la siembra, el cultivo, la cosecha y la industrialización de la caña de azúcar, publicado en el DOF el 31 de mayo de 1991, artículos 11-13.

<sup>38</sup> IMCO (2007) argumenta que dado que el pago de la caña se define a partir del volumen de las cargas individuales y la calidad de toda la caña recibida por el ingenio, los abastecedores tienen incentivos a agregar materiales (e.g., piedras) que aumenten el peso de su carga y con ello su pago.

<sup>39</sup> Por motivos similares a la situación que enfrentamos con la ecuación (1), la ecuación (2) excluye el efecto fijo por ingenio para evitar el problema de no poder identificar los coeficientes de interés, ya que la variable clave, el número de abastecedores cañeros, no varía lo suficiente a lo largo del tiempo.

La columna (A1) da cuenta de una correlación positiva entre el número de abastecedores cañeros y la calidad de la caña, la cual se preserva frente a la inclusión de los efectos fijos, como se aprecia en la columna (A2). Bajo estas dos primeras especificaciones, podemos rechazar la hipótesis nula  $\beta_1 < 0$  con una confianza de al menos 97%. Sin embargo, la relación pierde su significancia estadística al incluir controles de administración del ingenio, precipitación pluvial y volumen de caña obtenida por hectárea (columna (A3)). Bajo esta especificación, continuamos rechazando la hipótesis nula con una confianza del 94%. Las siguientes dos columnas muestran que la asociación entre abastecedores cañeros y la calidad de la caña tampoco es robusta a la inclusión de controles sobre la disponibilidad de irrigación, aplicación de fertilizantes, alzado mecánico, vehículos y cortadores (columna (A4)); y cosecha mecánica (columna (A5)). En estos últimos dos casos, no podemos rechazar la hipótesis nula a niveles de confianza convencionales, pero tampoco es posible rechazar la hipótesis alternativa  $\beta_1 \geq 0$ . Así, los resultados que se reportan en el Panel A nos llevan a concluir que la evidencia no apoya la conjetura de que un mayor número de abastecedores cañeros estará siempre asociado a una menor calidad de la caña que los ingenios reciben.

El Panel B demuestra que el polinomio de cuarto grado tiene un mayor poder explicativo que el modelo que sólo incluye el término lineal. Como se observa en las columnas (B1) a (B5), las estimaciones de los coeficientes del polinomio mantienen su significancia estadística bajo todas las especificaciones que consideramos. Asimismo, los valores  $p$  arrojados por las pruebas de cociente de verosimilitud y la de Wald ajustada por heteroscedasticidad nos permiten rechazar con una confianza del 99% la hipótesis nula  $\beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$ .<sup>40</sup> Las estimaciones son utilizadas para calcular los puntos críticos en los cuales cambia la dirección de la relación. (Véase la Figura 13 para facilitar el entendimiento de la siguiente descripción.) Nuestros cálculos indican que un mayor número de abastecedores cañeros estará asociado con una calidad superior de la caña mientras que el número de abastecedores sea menor de circa 2,500. La relación se torna negativa cuando el número de cañeros supera los 2,500, volviéndose a revertir cuando el número de abastecedores supera los 4,000 aproximadamente. A partir de este punto, y hasta alrededor de los 6,800, de nueva cuenta un mayor número de cañeros se asocia con una concentración superior de sacarosa. El último segmento de la relación, observado a partir de los 6,800 abastecedores, indica una correlación negativa entre el número de abastecedores y la calidad de su cosecha.

---

<sup>40</sup> Los resultados de regresiones ponderadas por la producción de caña o de azúcar muestran que las estimaciones significativas reportadas en el Panel A (columnas (A1) y (A2)) no son robustas a la utilización de ponderadores. Ello contrasta con los resultados mostrados en el Panel B, los cuales se mantienen al estimar las regresiones ponderadas.

En suma, no encontramos evidencia contundente de que la fórmula que define el pago de la caña socave los incentivos de los abastecedores cañeros a encontrar maneras de aumentar la calidad de la caña.

## V Ingenios azucareros

La industrialización de la caña en azúcar corre a cargo de los ingenios azucareros. Como se aprecia en la Figura 13, la productividad de éstos—medida por la eficiencia y el rendimiento de fábrica—se ha mantenido relativamente estable a lo largo del periodo 2000/01-2010/11, exhibiendo una ligera tendencia a la alza (siendo la zafra 2009/10 la excepción) en los ciclos más recientes. En el caso de la eficiencia de fábrica, la diferencia entre su máximo y su mínimo del periodo es de 1.3 puntos porcentuales; la amplitud del rango del rendimiento de fábrica es de 0.9 puntos porcentuales. Ambos indicadores registraron su mínimo durante la zafra 2006/07 y su máximo durante el último trienio. A nivel internacional, el rendimiento de fábrica observado durante el ciclo 2010/11 coloca a México en el séptimo sitio entre los principales productores de azúcar de caña (ver Figura 14).<sup>41</sup>

En esta sección estudiamos la relación que guarda la eficiencia de fábrica con diversos determinantes potenciales. Nuestra atención se centra en la administración (pública o privada) de los ingenios y en la eficiencia con la que éstos generan productos diferentes al azúcar, específicamente alcohol y energía eléctrica.

Nuestro análisis se basa en la estimación de diferentes variantes de la ecuación

$$\begin{aligned}
 \text{eficiencia de fábrica}_{it} = & c + \beta_1(\text{admón. ingenio})_{it} \\
 & + \beta_2(\text{generación electricidad})_{it} \\
 & + \beta_3(\text{producción alcohol})_{it} \\
 & + X'_{it}\delta + \varphi_i + \varphi_t + u_{it}, \tag{3}
 \end{aligned}$$

donde *eficiencia de fábrica*<sub>it</sub> representa la eficiencia de fábrica registrada por el ingenio *i* durante el ciclo  $t = 2000/01, \dots, 2010/11$ ; *c* es una constante; *admón. ingenio*<sub>it</sub> denota la propiedad (pública o privada) del ingenio; *generación electricidad*<sub>it</sub> y *producción alcohol*<sub>it</sub> indican la producción de electricidad y alcohol por tonelada de caña molida; *X*<sub>it</sub> es un vector de controles;  $\varphi_i$  y  $\varphi_t$  representan efectos fijos de los ingenios y ciclos, respectivamente; y *u*<sub>it</sub> es el residuo. Estimamos diversas especificaciones en las que las variables de interés son

---

<sup>41</sup> Carecemos de datos para poder realizar un comparativo internacional con la eficiencia de fábrica.



incluidas por separado o simultáneamente, mientras que las variables de control y los efectos fijos son introducidos gradualmente.

La Tabla 8 muestra los resultados del ejercicio econométrico. Las tres primeras columnas presentan las estimaciones de las especificaciones más simples que únicamente incluyen (aparte de la constante) cada una de las variables de interés por separado. Observamos que ni la administración del ingenio ni la producción del alcohol ejercen un impacto significativo sobre la eficiencia de fábrica. En cambio, la generación de electricidad exhibe (prima facie) una asociación negativa y significativa con la eficiencia de fábrica. La columna (4) confirma los resultados previos al incluir simultáneamente las tres variables de interés. Las columnas (5) a (8) extienden las especificaciones estimadas en las primeras cuatro columnas introduciendo los efectos fijos de los ingenios y ciclos. Apreciamos que los resultados de las columnas (1) a (4) son robustos a la inclusión de los efectos fijos.

A continuación procedemos con la introducción de variables de control. Un primer grupo de controles se compone de la fracción del tiempo laboral perdido bajo diferentes circunstancias. La columna (9) muestra que bajo esta especificación se preservan los resultados ya observados anteriormente, a saber, sólo la generación de electricidad presenta una relación estadísticamente significativa con la eficiencia de fábrica. Asimismo, las estimaciones indican que los ingenios con mayores lapsos de tiempo perdido exhiben una menor eficiencia de fábrica, siendo los tiempos perdidos en fábrica y por festividades especialmente perjudiciales para la productividad de los ingenios. La magnitud de estas asociaciones es sin embargo pequeña; por ejemplo, un coeficiente de  $-0.2$  implica que un incremento en el tiempo perdido en un punto porcentual (un incremento substancial considerando que la pérdida promedio por cuestiones de fábrica es de casi 10%) está asociado con una caída de 0.2 puntos porcentuales en la eficiencia de fábrica, una fracción minúscula del promedio de 82%.

La correlación negativa entre la generación de electricidad y la eficiencia de fábrica podría parecer sorprendente ya que es intuitivo pensar que aquellos ingenios capaces de generar mayores montos de electricidad por tonelada de caña deberían ser igualmente capaces de extraer más eficientemente el azúcar de la caña que procesan. Empero, puede pensarse que la relación negativa podría estar capturando las necesidades de energía eléctrica de los ingenios—los cuales producen su propia energía eléctrica—de tal suerte que ingenios con mayores requerimientos de energía tienden a ser menos productivos al contar con equipo de peor calidad, incluso obsoleto. Para probar esta hipótesis incluimos controles del consumo de energéticos (electricidad, petróleo y vapor) por tonelada de caña molida. Los resultados presentados en la columna (10) dan sustento empírico a nuestra hipótesis. Ingenios con requerimientos superiores de energéticos muestran niveles inferiores de

eficiencia de fábrica; fijando el consumo de energía, el coeficiente  $\beta_2$  revierte su dirección, indicando que los ingenios con mayor capacidad de generación de electricidad exhiben una mayor productividad en la manufactura de azúcar. La magnitud del coeficiente es poco trivial: ingenios capaces de aumentar en 10% su productividad en la generación de electricidad tienden a registrar incrementos en su eficiencia de fábrica en 4% en promedio.

Finalmente incluimos simultáneamente todos los controles que hemos considerado. Las estimaciones se muestran en la columna (11), donde observamos que aún bajo la especificación más completa se conservan los principales resultados descritos anteriormente, los cuales resumimos a continuación.<sup>42</sup> Primero, ni la administración privada o gubernamental de los ingenios, ni su capacidad de producir alcohol, parecen tener un impacto sobre su productividad. Segundo, habiendo controlado por su consumo operativo de electricidad, los ingenios que generan más eficientemente energía eléctrica tienden igualmente a transformar la sacarosa en azúcar a tasas superiores. Y tercero, los ingenios de menor eficiencia suelen registrar mayores pérdidas de tiempo y un mayor consumo de energéticos.

## VI Conclusiones

No obstante la relevancia del sector azucarero en México, así como el número de personas que dependen de éste, esta industria presenta rasgos estructurales que potencialmente inhiben una mayor competitividad. En las entrevistas que sostuvimos con diferentes partícipes del sector azucarero, la mayoría de nuestros interlocutores citaban a la alta atomización del campo cañero como uno de los obstáculos más pernicioso al desarrollo del sector. Ello bajo el argumento de que los minifundios son incapaces de generar las economías de escala que vuelvan rentable la inversión en insumos. A su vez, la falta de insumos erosiona la capacidad del campo de producir un mayor volumen de alta calidad del cultivo base de esta industria, la caña de azúcar. La presente investigación ofrece sustento empírico a esta noción de que—a partir de una extensión aproximada de 8 hectáreas—los predios de mayor superficie tienden a ser más productivos. Este resultado es complementado con el hallazgo de que los minifundios también tienden a registrar altos rendimientos relativo a las parcelas de tamaño medio. La evidencia que hemos presentado apunta a que esta relación no monotónica entre el tamaño de los predios cañeros y su productividad deviene a partir del uso más intensivo de insumos en las parcelas de menor y mayor tamaño. Empero, aún se requiere mayor investigación a fin de avanzar nuestro entendimiento de la relación entre la extensión de los lotes cañeros y su productividad. En particular, el uso más

---

<sup>42</sup> Regresiones ponderadas por la producción de azúcar arrojan resultados muy similares.

intensivo de insumos en parcelas pequeñas es un tema que merece un análisis más profundo.

Asimismo, este estudio ofrece evidencia para sugerir esquemas de incentivos encaminados a promover la inversión por parte de los ingenios en equipo, el cual aumentaría sus rendimientos en la producción de azúcar.

Resulta valioso realizar estudios con alcances similares a la presente investigación a fin de evaluar si los rasgos estructurales aquí identificados son también observados en otros sectores agropecuarios. Estos estudios coadyuvarían a lograr un mejor entendimiento de los componentes institucionales del proceso de formación de precios de productos con una alta incidencia en la dinámica inflacionaria, además de servir de guía para la formulación de políticas públicas conducentes a mejorar la competitividad de la industria agropecuaria en México.

## Referencias

- Ahmad, Munir y Sarfaz Khan Qureshi, 1999, "Recent Evidence on Farm Size and Land Productivity: Implications for Public Policy," *The Pakistan Development Review*, 38(4): 1135-1153.
- Appendini, Kirsten, 2010, "La Regularización de la Tierra después de 1992: La 'Apropiación' Campesina de PROCEDE," en *Los Grandes Problemas de México Vol. XI: Economía Rural*, editado por Antonio Yúnez Naude, El Colegio de México.
- Artís Espriu, Gloria, 1997, "Minifundio y Fraccionamiento de la Tierra Ejidal Parcelada," *Estudios Agrarios*, 3(8): 11-31.
- Bardhan, Pranab, 1973, "Size, Productivity, and Returns to Scale: An Analysis of Farm-Level Data in Indian Agriculture," *Journal of Political Economy*, 81(6): 1370-1386.
- Bhalla, S. S. y Roy, P., 1988, "Misspecification in Farm Productivity Analysis: The Role of Land Quality," *Oxford Economic Papers*, 40(1): 55-73.
- Carter, M. R., 1984, "Identification of the Inverse Relationship between Farm Size and Productivity: An Empirical Analysis of Peasant Agricultural Production," *Oxford Economic Papers*, 36(1): 131-145.
- CEMA, 2002, *Manual Azucarero Mexicano 2002*, México, D.F.
- CEMA, 2003, *Manual Azucarero Mexicano 2003*, México, D.F.
- CEMA, 2004, *Manual Azucarero Mexicano 2004*, México, D.F.
- CEMA, 2005, *Manual Azucarero Mexicano 2005*, México, D.F.
- CEMA, 2006, *Manual Azucarero Mexicano 2006*, México, D.F.
- CEMA, 2007, *Manual Azucarero Mexicano 2007*, México, D.F.
- CEMA, 2008, *Manual Azucarero Mexicano 2008*, México, D.F.
- CEMA, 2009, *Manual Azucarero Mexicano 2009*, México, D.F.
- CEMA, 2010, *Manual Azucarero Mexicano 2010*, México, D.F.
- CEMA, 2011, *Manual Azucarero Mexicano 2011*, México, D.F.
- CEMA, 2012, *Manual Azucarero Mexicano 2012*, México, D.F.
- CEFP, 2005, *El Impacto de las Importaciones de Fructosa en la Industria Azucarera*, Cámara de Diputados.

- Chen, Zhou, Wallace Huffman y Scott Rozelle, 2011, "Inverse Relationship between Productivity and Farm Size: The Case of China," *Contemporary Economic Policy*, 29(4): 580-592.
- Cornia, G.A., 1985, "Farm Size, Land Yields and the Agricultural Production Function: An Analysis for Fifteen Developing Countries," *World Development*, 13(4): 513-534.
- Fan, Shengen, y Chan-Kang Connie, 2005, "Is Small Beautiful? Farm Size, Productivity, and Poverty in Asian Agriculture," *Agricultural Economics*, 32(1): 135-146.
- FAO, 2012, *Sistema de Información de los Recursos del Pienso*, disponible en: <http://www.fao.org/ag/AGA/AGAP/FRG/AFRIS/espanol/Document/tfeed8/Data/474.HTM>
- Fernández y Fernández, Ramón, 1946, "Problemas Creados por la Reforma Agraria en México," *El Trimestre Económico*, 13(3): 463-494.
- FIRA, 2009, *Competitividad de la Industria del Azúcar en México*, México, D.F.
- FIRA, 2010, *Producción Sostenible de Caña de Azúcar en México*, México, D.F.
- FIRA, 2011, *Panorama Agroalimentario: Azúcar 2011/12*, México, D.F.
- Helfand, Steven y Edward Levine, 2004, "Farm size and the determinants of productive efficiency in the Brazilian Center-West," *Agricultural Economics*, 31(2-3): 241-249.
- Heltberg, Rasmus, 1998, "Rural Market Imperfections and the Farm Size-Productivity Relationship: Evidence from Pakistan," *World Development*, 26(10):1807-1826.
- Elizondo Mayer-Serra, Carlos, 2011, *Por Eso Estamos Como Estamos: La Economía Política de un Crecimiento Mediocre*, Editorial Debate.
- IMCO, 2007, *The Integration of the North-American Sugar Market: Consequences for Mexican Producers and Consumers*, Mimeo.
- Kagin, Justin, J. Edward Taylor y Antonio Yúnez Naude, 2012, "Inverse Productivity or Inverse Efficiency? Evidence from Mexico," Mimeo.
- Koo, Won y Richard Taylor, 2011, "2011 Outlook of the U.S. and World Sugar Markets, 2010-2020," *Agribusiness & Applied Economics Report* 679.
- OCDE, 1997, *Examen de las Políticas Agrícolas de México*, París.

- Pérez Zamorano, Abel, 2007, *Tenencia de la Tierra e Industria Azucarera*, Editorial Porrúa.
- Pérez Zamorano, Abel, 2011, “Estructura Agraria y Sector Agrícola en México,” Mimeo.
- SAGARPA, 2007a, *Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2007-2012*, México, D.F.
- SAGARPA, 2007b, *Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario y Pesquero 2007-2012*, México, D.F.
- SAGARPA, 2010, *Bases Técnicas para el Fomento a la Producción de Biocombustibles en el País a partir de la Caña de Azúcar*, México, D.F.
- Sen, Amartya, 1962, “An Aspect of Indian Agriculture,” *Economic Weekly*, 14, 243–246.
- Thapa, Sridhar, 2007, “The relationship between farm size and productivity: empirical evidence from the Nepalese mid-hills,” documento presentado durante el 106<sup>th</sup> Seminar of the European Association of Agricultural Economists.
- UNC-CNPR, 2010, *Estadísticas de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2001-2010*, México, D.F.
- UNC-CNPR, 2011, *Estadísticas de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2002-2011*, México, D.F.
- Warman, Arturo, 2003, “La Reforma Agraria Mexicana: Una Visión de Largo Plazo,” *Land Reform, Land Settlement and Cooperatives*, 2003/2: 84-94.
- Yúnez Naude, Antonio 2010, “Las Políticas Públicas Dirigidas al Sector Rural: El Carácter de las Reformas para el Cambio Estructural,” en *Los Grandes Problemas de México Vol. XI: Economía Rural*, editado por Antonio Yúnez Naude, El Colegio de México.

## Anexos

### A1 El jarabe de maíz de alta fructosa

El jarabe de maíz de alta fructosa (JMAF) es un edulcorante que se obtiene a partir del procesamiento del grano de maíz amarillo. Por ser un sustituto del azúcar de menor costo para las industrias alimenticia y refresquera, el JMAF ha penetrado gradualmente en el mercado mexicano desplazando al azúcar como insumo en dichas industrias. Como se puede apreciar en la Figura A1.1, el consumo nacional de edulcorantes (azúcar y fructosa) ha ido aumentando paulatinamente, pasando de un promedio de 4.94 millones de toneladas por año durante el periodo 2000-2005 a un promedio de 5.57 millones durante el periodo 2006-2012. Durante la primera mitad de la década, el consumo total de edulcorantes estuvo dominado por el azúcar, con la participación de la fructosa alcanzando su mínimo de 2.7% en 2003.<sup>43</sup> En contraste, la segunda parte de la década se caracterizó por el substancial crecimiento en la demanda de JMAF, lo cual llevó al consumo total de edulcorantes a máximos históricos no obstante la reducción en el consumo de azúcar. Para 2012, el consumo de fructosa ascendió a 1.72 millones de toneladas, representando el 30% del consumo total de edulcorantes.

La decisión de consumidores industriales de substituir azúcar por JMAF como insumo obedece primordialmente al menor costo del segundo. La Figura A1.2 presenta un comparativo de los precios al mayoreo entre la fructosa y los azúcares estándar y refinada, en el cual se aprecia que el precio de la fructosa se ubica generalmente por debajo del precio de ambos tipos de azúcar. Cabe hacer notar que el drástico aumento en la demanda de JMAF observada entre 2009 y 2010 coincide con la fuerte alza del precio de los dos tipos de azúcar ocurrida en el mismo periodo.

Actualmente, alrededor de tres cuartas partes del JMAF consumido en México proviene del extranjero. La fructosa ingresa a nuestro país libre de arancel si proviene de EE.UU., Canadá, Chile o Uruguay bajo el amparo de los tratados comerciales que México ha suscrito con estas naciones. Al resto del mundo se

---

<sup>43</sup> México ha buscado en el pasado frenar las importaciones de JMAF. En 1997 México interpuso una demanda promovida por la CNIAA acusando a EE.UU. de prácticas de dumping respecto a las importaciones de JMAF. Derivado de ello, en 1998 la SE determinó que sí existía dumping, por lo que puso un arancel compensatorio a las importaciones de alta fructosa. Por su parte las empresas estadounidenses que se vieron afectadas con esta decisión presentaron su queja ante la Organización Mundial de Comercio (OMC). El fallo de la OMC fue a favor de México. Posteriormente, en diciembre de 2001 se aprobó un impuesto especial para la producción y servicios (IEPS) de 20% a los refrescos que fueran endulzados con productos distintos al azúcar. Aunado a lo anterior, en 2002 se elevó el arancel a la fructosa a 210% ad valorem (véase CEFP, 2005). Estos sucesos dieron como resultado una disminución en las importaciones de fructosa. Las empresas productoras estadounidenses nuevamente presentaron una demanda ante la OMC. En esta ocasión el fallo les favoreció por lo que en 2007 México se vio obligado a eliminar el IEPS a los refrescos.

aplica un arancel ad valorem de 175%.<sup>44</sup> Del total de JMAF que México importa, aproximadamente el 80% proviene de EE.UU.

## **A2 Contribución del azúcar a la dinámica inflacionaria, 2000-2012**

En este anexo describimos el comportamiento de los precios del azúcar y su aportación a la inflación general durante el periodo 2000 a 2012. Para ello utilizamos la incidencia de este producto, así como el porcentaje que esta incidencia representa de la inflación general anual que se registró en cada mes durante el periodo considerado.<sup>45</sup>

En la Figura A2.1 se observa que previo al segundo semestre de 2006, la incidencia del azúcar sobre la dinámica inflacionaria se mantuvo estable y relativamente baja al promediar 1.4 puntos base, equivalente a una contribución media de 0.28% a la inflación general. A partir de la segunda mitad de 2006, la aportación del azúcar a la dinámica inflacionaria ha incrementado tanto en nivel como en su volatilidad. En efecto, de julio de 2006 a diciembre de 2012, el azúcar ha aportado en promedio 2.8 puntos bases, o 0.69% de la inflación general; más aún, mientras que la incidencia del azúcar registró una desviación estándar de 1.3 unidades antes del segundo semestre de 2006, esta medida de volatilidad ascendió a 6.83 en los meses subsecuentes. Durante dicho periodo, destacan tres episodios en los que la contribución del azúcar a la dinámica inflacionaria fue particularmente alta.

El primero de ellos comenzó a gestarse a inicios del segundo semestre de 2006, alcanzando su máximo en octubre de ese año cuando la incidencia del azúcar llegó a los 9 puntos base, representando el 2% de la inflación anual de ese mes. Este comportamiento coincide con el aumento de los precios internacionales de las materias primas observado en los mercados internacionales. Aunado a ello, los incrementos en el precio del petróleo provocaron que países como Brasil y EE.UU. buscaran impulsar la producción de etanol a partir de cultivos como la caña de

---

<sup>44</sup> A partir del 24 de noviembre de 2012, el arancel de importación para las fracciones arancelarias de la fructosa pasó de 210% a 175%, e irá disminuyendo cada 1° de enero en 25 puntos porcentuales hasta quedar en 75% ad valorem para 2017 (véase el *Decreto por el que se modifican la Tarifa de la Ley de los Impuestos Generales de Importación y de Exportación y el diverso por el que se modifican diversos aranceles de la Tarifa de la Ley de los Impuestos Generales de Importación y de Exportación, del Decreto por el que se establecen diversos Programas de Promoción Sectorial y de los diversos por los que se establece el esquema de importación a la Franja Fronteriza Norte y Región Fronteriza*, publicado en el DOF el 23 de noviembre de 2012).

<sup>45</sup> La incidencia se refiere a la contribución en puntos porcentuales de cada componente del INPC a la inflación general. Ésta se calcula utilizando los ponderadores de cada bien o servicio genérico, así como los precios relativos y sus respectivas variaciones porcentuales anuales.



azúcar y el maíz amarillo, situación que exacerbó el encarecimiento del azúcar en todo el mundo.<sup>46</sup>

El segundo episodio empezó a formarse a partir del segundo trimestre de 2009, llegando a tener una incidencia hacia finales de ese año de 19.9 puntos base, y contribuir 5.2% a la inflación total observada en diciembre. Este incremento se debió en buena parte a: (a) una reducción en la producción del edulcorante en los ciclos azucareros 2008/09 y 2009/10; y (b) el considerable incremento de las exportaciones de azúcar a EE.UU., resultado de la eliminación de los aranceles aplicados al comercio de azúcar con ese país en enero de 2008, fenómeno que se conjugó con la depreciación cambiaria registrada a finales de del mismo año.<sup>47</sup> El alza en los precios internacionales de múltiples materias primas puede también citarse como un factor que coadyuvó al incremento de los precios del azúcar en México.

El episodio más reciente sucedió durante el último trimestre de 2011, cuando el azúcar alcanzó a tener una incidencia de 3.7 puntos base en diciembre y una contribución de 1% a la inflación general anual observada en noviembre. Este incremento en los precios se explica principalmente por los dos siguientes choques de oferta. Primero, las condiciones climáticas que retrasaron el inicio de la zafra 2011/12 (la producción acumulada al cierre de 2011 reflejaba una reducción de 31% respecto del mismo periodo del año previo). Y segundo, el aumento significativo en las exportaciones de azúcar (para noviembre el monto acumulado de las exportaciones había registrado un incremento anual de 55%).<sup>48</sup>

### **A3 Relación entre cantidad y calidad de la caña**

En este anexo documentamos la asociación positiva entre la cantidad (volumen de caña por hectárea) y la calidad (contenido de sacarosa) de la caña de azúcar cosechada en México. La Figura A3.1 ilustra la relación entre estas dos variables durante los ciclos 2009/10 y 2010/11. Como se puede apreciar, los abastecedores de ingenios como Atencingo, Casasano La Abeja y Emiliano Zapata produjeron elevados volúmenes de caña de alta calidad por hectárea. Ello contrasta con el abasto poco productivo de caña de baja calidad a ingenios como Aarón Sáenz, Los Mochis y San Francisco El Naranjal.

A fin de establecer econométricamente la correlación entre la cantidad y la calidad de la caña, estimamos la ecuación

---

<sup>46</sup> Martínez, Verónica, 2006, "Reconoce SAGARPA Escasez de Azúcar," *Reforma*, 20 de septiembre.

<sup>47</sup> Diario Oficial de la Federación, *Acuerdo por el que se da a conocer el cupo y mecanismo de asignación para importar azúcar en 2009*, publicado el 6 de agosto de 2009.

<sup>48</sup> Banco de México, *Informe sobre la Inflación Octubre – Diciembre 2011*, p. 13.

$$\text{contenido sacarosa}_{it} = c + \beta(\text{caña}_{it}) + X'_{it}\delta + \varphi_i + \varphi_t + u_{it}, \quad (\text{A3.1})$$

donde *contenido sacarosa*<sub>it</sub> representa la concentración de sacarosa (expresado en puntos porcentuales) en la caña industrializada en el ingenio *i* durante el ciclo  $t = 2000/01, \dots, 2010/11$ ; *c* es una constante; *caña*<sub>it</sub> indica el tonelaje de caña obtenida por hectárea por los abastecedores del ingenio *i* en el ciclo *t*; *X*<sub>it</sub> es un vector de controles que incluye datos sobre la administración del ingenio (pública o privada), precipitación pluvial, disponibilidad de riego, aplicación de fertilizantes, alzado mecánico, vehículos, cortadores y cosecha mecánica;  $\varphi_i$  y  $\varphi_t$  representan efectos fijos de los ingenios y ciclos, respectivamente; y *u*<sub>it</sub> es el término residual. El coeficiente de interés es  $\beta$ .

La columna (1) de la Tabla A3.1 muestra que una tonelada adicional de caña obtenida por hectárea está asociada con un mayor contenido de sacarosa en 0.013 puntos porcentuales. Las columnas (2) a (4) indican que la inclusión de las variables de control no altera considerablemente la dirección, magnitud, o nivel de significancia estadística de esta estimación.<sup>49</sup> La dimensión del coeficiente estimado resulta pequeña si se considera que en la zafra 2010/11, el contenido de sacarosa en caña ascendió a 14.1% a nivel nacional.

Con el objetivo de examinar a mayor profundidad la magnitud de la relación positiva entre la cantidad y la calidad de la caña de azúcar, procedemos a estimar una ecuación análoga a (A3.1) con la diferencia de que expresamos tanto la variable dependiente, *contenido sacarosa*<sub>it</sub>, como al regresor de interés, *caña*<sub>it</sub>, en términos logarítmicos; esta estrategia empírica permite estimar la elasticidad entre estas variables. Las columnas (5) a (8), las cuales difieren entre sí por los controles incluidos en la estimación, muestran una elasticidad que oscila entre 0.05 y 0.06, la cual implica que un incremento en 10% del tonelaje de caña obtenida por hectárea está asociada a un aumento de entre 0.4% y 0.6% en la calidad de ésta.

## A4 Pruebas de robustez aplicadas a la ecuación (1)

En este anexo presentamos los resultados de una batería de pruebas de robustez que aplicamos a la forma funcional de la ecuación (1) y a las estimaciones que de ésta se derivan. Los resultados de estas pruebas se muestran en la Tabla A4.1. A fin de facilitar el comparativo con los resultados base, el Panel A replica las estimaciones clave.

---

<sup>49</sup> La caída en el número de observaciones resulta de la carencia de datos sobre las variables de control incluidas. La estrategia empírica conserva su validez en la medida de que la falta de estos datos no se deba a algún factor relacionado al término residual habiendo controlado por las variables explicativas incluidas en (A3.1). Consideramos este escenario plausible.

La primera prueba consiste en evaluar la forma cuadrática de la ecuación (1). Para ello estimamos el modelo excluyendo el término cuadrático con el fin de examinar si la inclusión de dicho término constituye una mejora estadísticamente significativa. Los resultados se reportan en el Panel B. Dado que: (a) el tamaño crítico de las parcelas cañeras a partir del cual cambia la dirección de la relación de interés es grande relativo a la extensión de la mayoría de las parcelas, y (b) los rendimientos de sacarosa que logran los predios de mayor superficie no superan los de las parcelas más pequeñas, entonces no es de sorprender que en varias de nuestras especificaciones (descritas en el Panel G) el coeficiente del término lineal sea negativo y estadísticamente significativo. Sin embargo, en varias especificaciones en las que controlamos por la utilización de insumos de producción, la relación lineal negativa pierde significancia (columnas (6), (8) y (10)), e incluso cambia de signo en un par de casos (columnas (12) y (13)). Ello es consistente con el argumento de que la utilización de ciertos insumos determina la relación entre la superficie de los lotes cañeros y su productividad, de tal forma que una vez que controlamos por la utilización de estos insumos, el tamaño de las parcelas se vuelve un componente redundante del modelo.

El Panel B también presenta los valores  $p$  de las pruebas de Wald robustas que realizamos para evaluar si la inclusión del término cuadrático mejora significativamente el modelo econométrico. Los resultados demuestran que bajo las especificaciones sin controles sobre la utilización de insumos, la inclusión del componente cuadrático representa una mejora estadísticamente significativa sobre el modelo que sólo considera el término lineal. En cambio, bajo las especificaciones que controlan por la utilización de insumos, la inclusión del elemento cuadrático no mejora significativamente el modelo. En este caso, no sólo es el término cuadrático el que deja de tomar relevancia, sino que en general es la variable del tamaño de las parcelas la que se vuelve irrelevante. Esto se aprecia en los valores  $p$  que arrojan las pruebas de la hipótesis nula  $\beta_1 = \beta_2 = 0$ , la cual no podemos rechazar en aquellas especificaciones que incluyen los controles sobre la utilización de insumos; es decir, en dichas especificaciones los términos lineal y cuadrático no representan conjuntamente una mejora significativa sobre el modelo que excluye la variable referente a la extensión de las parcelas cañeras.

El resto de las pruebas de robustez son maneras alternativas de estimar la ecuación (1). Primeramente exploramos si la exclusión de observaciones atípicas alteran nuestros resultados base. La justificación de este ejercicio surge de la preocupación de que por sus valores atípicos, ciertas observaciones pudieran estar determinando nuestros resultados. El Panel C reporta las estimaciones excluyendo las observaciones correspondientes al ingenio La Primavera (PRI), en tanto que el Panel D muestra los resultados análogos al excluir las observaciones tanto del ingenio La Primavera como del ingenio El Higo (HIG). El segundo ejercicio consiste en examinar si la utilización de ponderadores en la estimación de la ecuación (1)

cambia nuestros resultados. La motivación de este ejercicio proviene de las diferencias en los volúmenes de caña y de azúcar que cada ingenio procesa y produce, respectivamente. Como ejemplo de una preocupación que puede surgir de estas diferencias, se podría pensar que la relación no monotónica desaparecería si es el caso que los predios cañeros que abastecen a los ingenios más pequeños (a juzgar por el volumen de caña que procesan o el azúcar que producen) son los que se ubican en los extremos de la distribución del tamaño de las parcelas. En los Paneles E y F presentamos, respectivamente, los resultados de las regresiones ponderadas por el volumen de caña industrializada y por el volumen de azúcar producida. Como se puede observar en los Paneles C-F, en todas estas pruebas de robustez nuestros resultados base se preservan: una relación en forma de U con un valor crítico que ronda las 8 hectáreas, la cual se disipa una vez que controlamos por la utilización de insumos de producción.

## A5 Fórmula utilizada para determinar el precio de la caña

De acuerdo a lo dispuesto en el Capítulo II (artículos 57 al 66) de la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (LDSCA) y en la Minuta del Grupo de Aumento en la Inversión y el Empleo (celebrada el 9 de noviembre de 2010), el pago de la caña se lleva a cabo en tres fases. Durante la primera de ellas, conocida como preliquidación, se paga el 80% del valor de la caña neta entregada por el agricultor al ingenio durante el periodo de octubre a mayo. Este pago se cubre el día 15 de cada mes cuando la terminación del corte de la caña sea en la segunda quincena del mes anterior, y el día último del mes cuando la terminación del corte de la caña sea en la primera quincena del mismo mes. Para el pago se utiliza como precio de referencia el precio acordado para el ajuste final del pago de la caña entregada durante el ciclo previo. Este precio, que se publica en octubre (i.e., a inicios de la nueva zafra) en el DOF, es multiplicado por el promedio del llamado Kilogramo de Azúcar Recuperable Base Estándar (KARBE) por tonelada de caña obtenido en las cinco zafras anteriores.<sup>50</sup> El precio de preliquidación asciende a 57%

---

<sup>50</sup> El KARBE es una medida teórica del volumen de azúcar que los ingenios habrían de recuperar por tonelada de caña molida en función de las características de la caña entregada al ingenio y la productividad de éste. De acuerdo con el artículo 62 inciso II de la LDSCA, el KARBE se calcula tomando en cuenta el contenido de sacarosa, la pureza del jugo extraído y la fibra en caña, considerando una eficiencia de fábrica no menor a 82.37%, es decir,

$$\frac{KARBE}{TCN} = \frac{\left(\frac{KARBE}{TCB}\right) * TCB}{TCN},$$

para la cual

$$\frac{KARBE}{TCB} = Pol\%C * EBF * FP * FF * \frac{10}{99.40},$$

donde  $KARBE$  = kilogramo de azúcar recuperable base estándar;  $TCN$  = tonelada de caña neta (se obtiene de deducir de la caña bruta cualquier cantidad en kilogramos correspondiente a basura o materia extraña);  $TCB$  = tonelada de caña bruta;  $Pol\%C$  = porcentaje de sacarosa en caña;  $EBF$  = eficiencia base en fábrica de 82.37%;

de dicho producto. Formalmente, el precio de preliquidación se puede expresar como

$$P_{caña,t}^{pre} = 0.57(K_5)P_{ref,t-1},$$

donde  $P_{caña,t}^{pre}$  denota el precio de la caña en la etapa de preliquidación de la zafra en curso;  $K_5$  representa el promedio del volumen de azúcar base estándar recuperado por tonelada de caña en las cinco zafras anteriores; y  $P_{ref,t-1}$  es el precio de referencia utilizado para el ajuste final del ciclo inmediato anterior.<sup>51</sup>

La segunda fase se conoce como liquidación final. En esta fase, la cual entra en vigor a partir de junio, se paga el 100% de la caña neta entregada durante la zafra en curso. El precio de referencia del azúcar se determina a partir del promedio ponderado entre los precios del azúcar en el mercado nacional y el de exportación observados durante la zafra en curso al mes de mayo. Por su parte, el KARBE se refiere al obtenido a partir de las características de la caña entregada al ingenio durante esa zafra. El precio de liquidación corresponde al 57% del producto del KARBE/TCN y el precio de referencia del azúcar. Formalmente la fórmula se puede expresar como

$$P_{caña,t}^{liq} = 0.57 \left( \frac{KARBE}{TCN} \right) P_{ref,t},$$

donde  $P_{caña,t}^{liq}$  es el precio para la liquidación de la caña;  $\frac{KARBE}{TCN}$  denota el kilogramo de azúcar recuperable base estándar obtenida por tonelada de caña neta molida por el ingenio; y  $P_{ref,t}$  representa el precio de referencia del azúcar utilizado en todo el país, el cual se calcula como un promedio ponderado del precio nacional del azúcar estándar al mayoreo y el precio promedio de las exportaciones realizadas en el ciclo correspondiente. Es decir,

$$P_{ref,t} = \alpha P_{n,t} + (1 - \alpha) P_{ex,t},$$

donde  $P_{n,t}$  denota el precio promedio al mayoreo del azúcar estándar reportado por el SNIIM a partir de datos recabados en 23 centrales de abasto desde el inicio del ciclo azucarero al mes de mayo<sup>52</sup>;  $P_{ex,t}$  es el precio promedio de las exportaciones, equivalente al promedio del llamado Contrato 16 (precio del contrato de futuros de azúcar cruda en el mercado estadounidense) más 6% menos 50 dólares en caso de

$FP$  = factor pureza del jugo extraído tomando de referencia una pureza de 81.23%;  $FF$  = contenido de fibra en caña tomando de referencia un valor de 14.21%; y el factor 10/99.4 se utiliza para expresarlo en kilogramos de Pol del azúcar base estándar por tonelada de caña bruta.

<sup>51</sup> De acuerdo a uno de nuestros interlocutores pertenecientes al sector cañero, en la práctica el pago que se hace en la fase de preliquidación suele ser más bajo que el calculado por la fórmula. Ello es debido a que las organizaciones cañeras buscan evitar que el agricultor tenga que desembolsar dinero en la liquidación final ante la posibilidad de una caída drástica en el precio del azúcar.

<sup>52</sup> Al precio obtenido se le aplica un descuento de 6.4% y el resultado es el precio de referencia del mercado nacional.

las exportaciones a EE.UU., y al promedio del Contrato 11 (precio del contrato de futuros de azúcar cruda en el mercado internacional) más 6% menos 30 dólares en caso de las exportaciones a terceros países; y  $\alpha$  captura la participación del consumo doméstico respecto a la producción nacional de la zafra, por lo que  $(1 - \alpha)$  equivale a la fracción de la producción nacional cuyo destino son los mercados extranjeros, de acuerdo a los datos del Balance Nacional de Edulcorantes que publica el Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (CONADESUCA).

La tercera fase de liquidación, conocida como ajuste final, inicia en octubre y termina a más tardar en diciembre de la siguiente zafra. En esta fase se utiliza la misma fórmula que en la fase de liquidación final, con la diferencia de que la información utilizada en los cálculos es actualizada al mes de septiembre, con lo cual los datos utilizados reflejarán el comportamiento de todo el ciclo azucarero. Este precio es el publicado en octubre en el DOF que sirve de referencia durante la fase de preliquidación de la siguiente zafra.

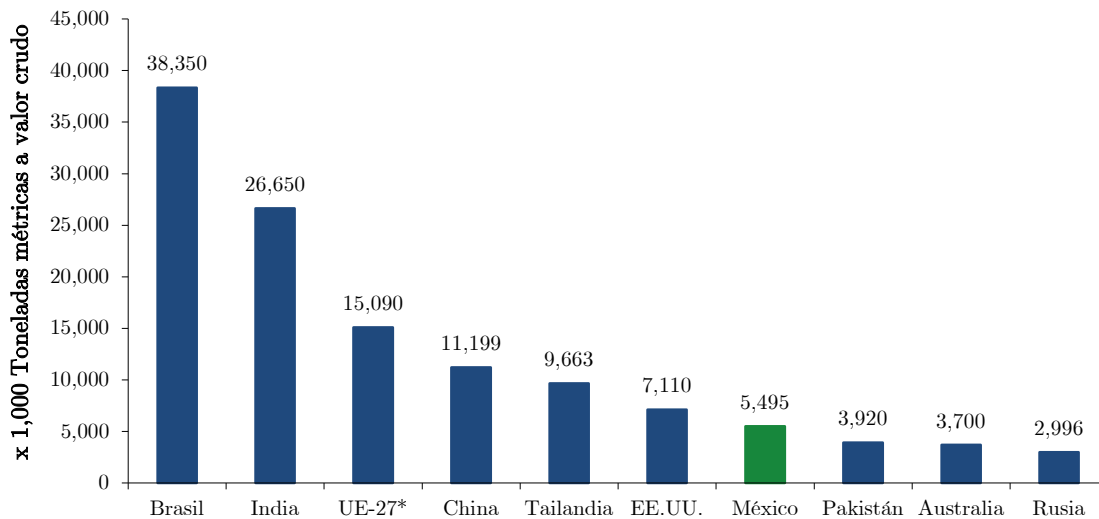
## **A6 Lista de acrónimos**

|            |  |
|------------|--|
| CEFP       | Centro de Estudios de las Finanzas Públicas  |
| CEMA       | Compañía Editora del Manual Azucarero, S.A. de C.V.  |
| CNIAA      | Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica   |
| CONADESUCA | Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar  |
| CONAGUA    | Comisión Nacional del Agua   |
| DOF        | Diario Oficial de la Federación  |
| ENHRUM     | Encuesta Nacional de Hogares Rurales de México   |
| FANAR      | Fondo de Apoyo a Núcleos Agrarios sin Regularización   |
| FAO        | Food and Agriculture Organization of the United Nations<br>(Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) |
| FIRA       | Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura  |
| FEESA      | Fondo de Empresas Expropiadas del Sector Azucarero   |

|          |   |
|----------|---|
| FOMAR    | Fomento a la Organización Agraria   |
| IMCO     | Instituto Mexicano para la Competitividad                                     |
| INEGI    | Instituto Nacional de Geografía y Estadística                                 |
| INPC     | Índice Nacional de Precios al Consumidor                                      |
| INPP     | Índice Nacional de Precios al Productor                                       |
| JMAF     | Jarabe de Maíz de Alta Fructosa   |
| KARBE    | Kilogramo de Azúcar Recuperable Base Estándar                                 |
| LDSCA    | Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar                            |
| OCDE     | Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo Económico          |
| OMC      | Organización Mundial de Comercio  |
| PIB      | Producto Interno Bruto  |
| PROCEDE  | Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares        |
| SAGARPA  | Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación  |
| SE       | Secretaría de Economía  |
| SIAP     | Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera                            |
| SNIM     | Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados                     |
| UNC-CNPR | Unión Nacional de Cañeros de la Confederación Nacional de Productores Rurales |
| USDA     | U.S. Department of Agriculture (Departamento de Agricultura de los EE.UU.)    |

## Figuras y tablas

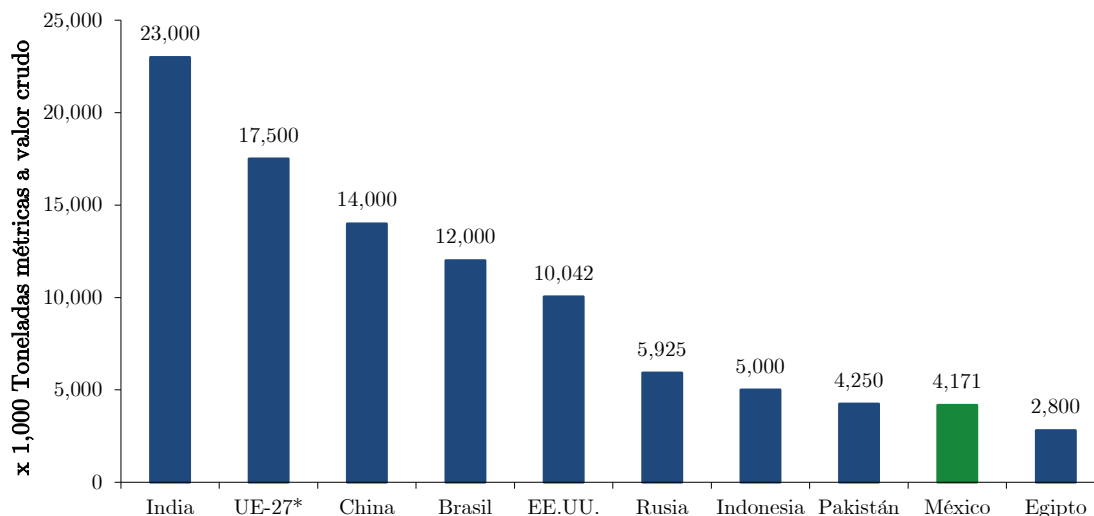
Figura 1. Principales países productores de azúcar centrífuga, ciclo 2010/11



Fuente: USDA.

\* UE-27: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumania y Suecia.

Figura 2. Principales países consumidores de azúcar centrífuga para uso humano, ciclo 2010/11

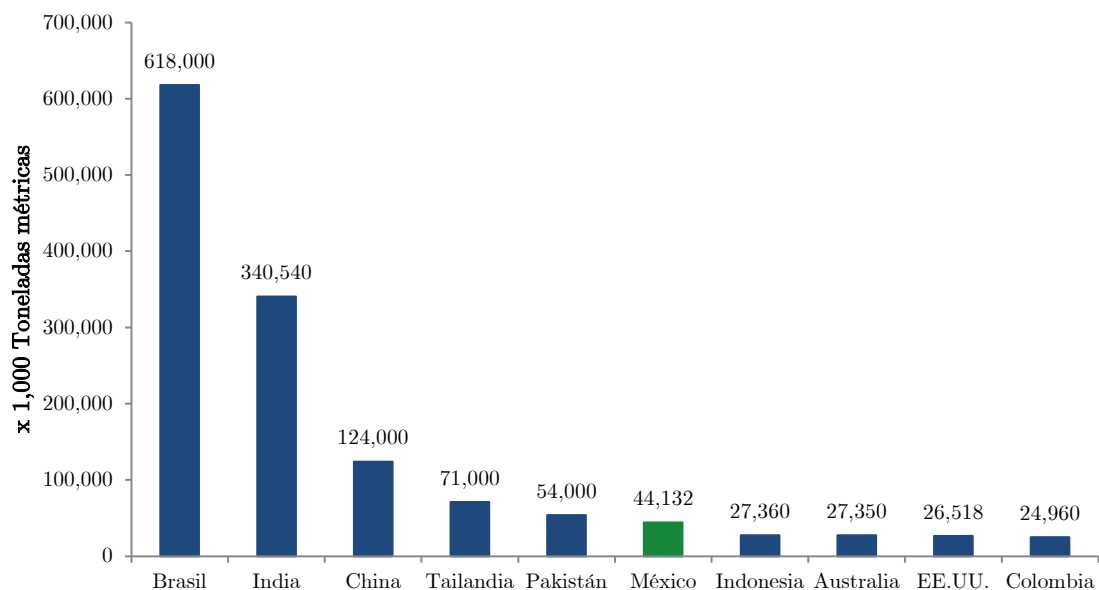


Fuente: USDA.

\* UE-27: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumania y Suecia.

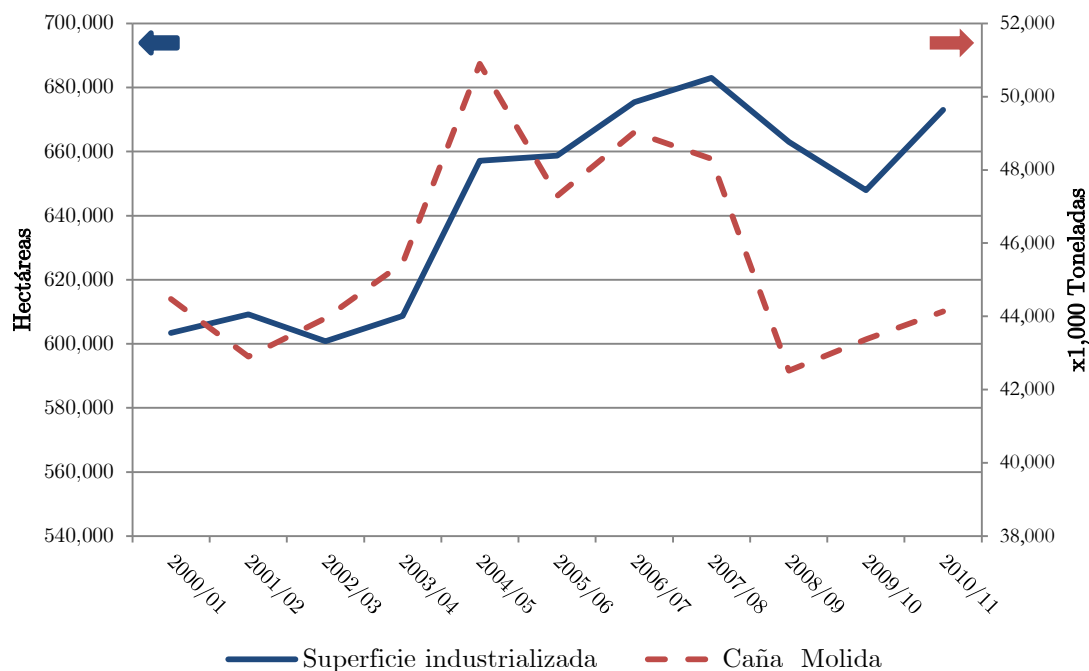


Figura 3. Principales países productores de caña de azúcar en 2011



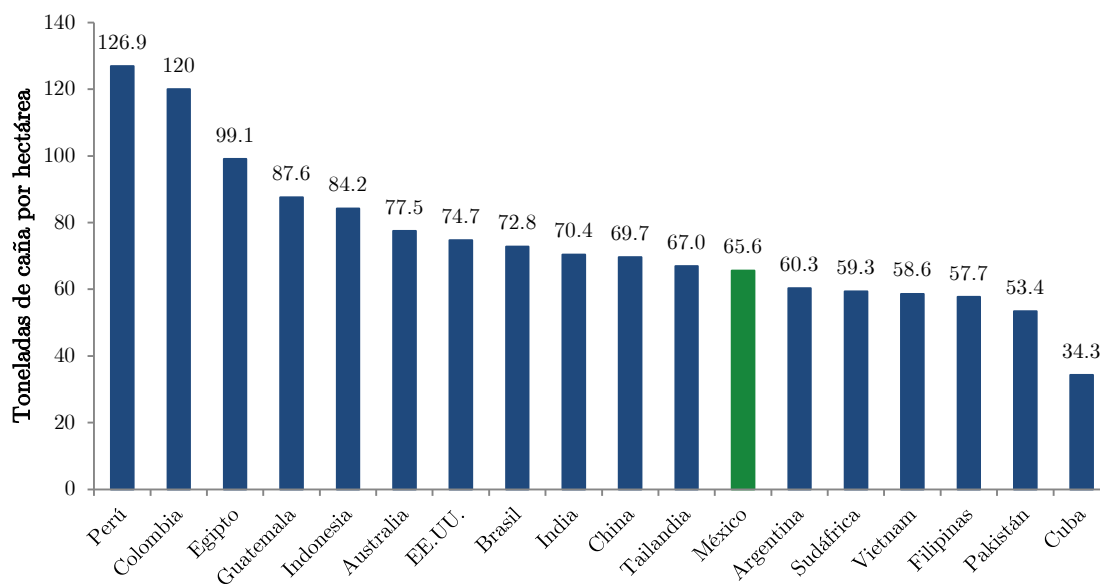
Fuente: UNC-CNPR (2011) con base en datos del USDA.

Figura 4. Superficie industrializada y producción de caña de azúcar, 2000/01-2010/11



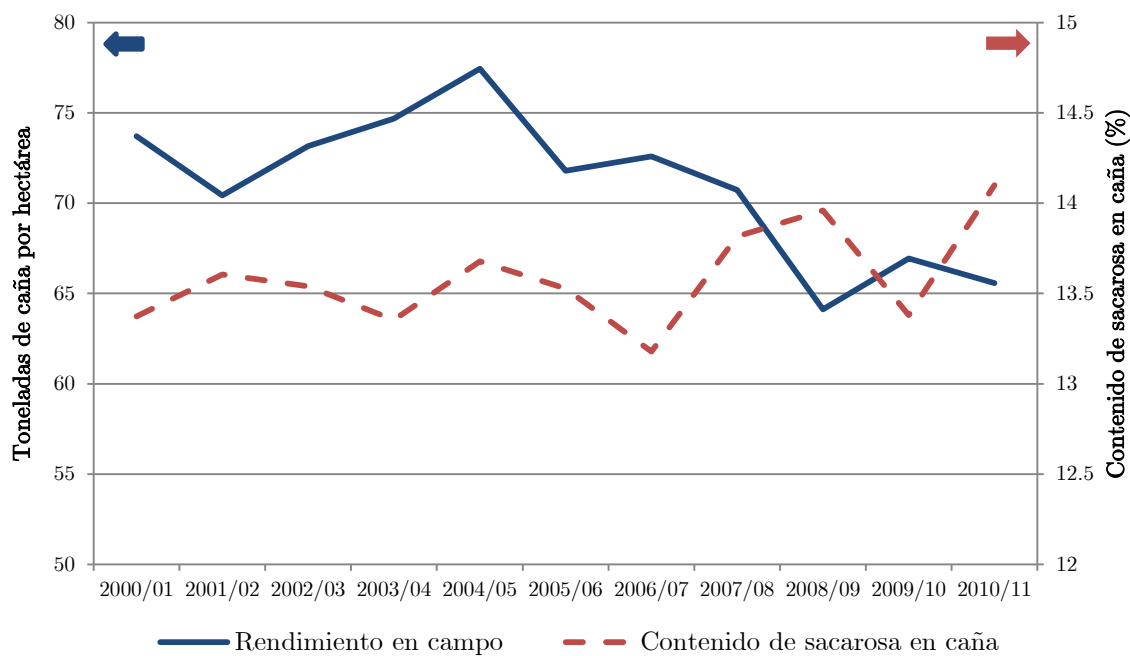
Fuente: UNC-CNPR (2010, 2011).

Figura 5. Comparativo internacional de los rendimientos en campo en 2011



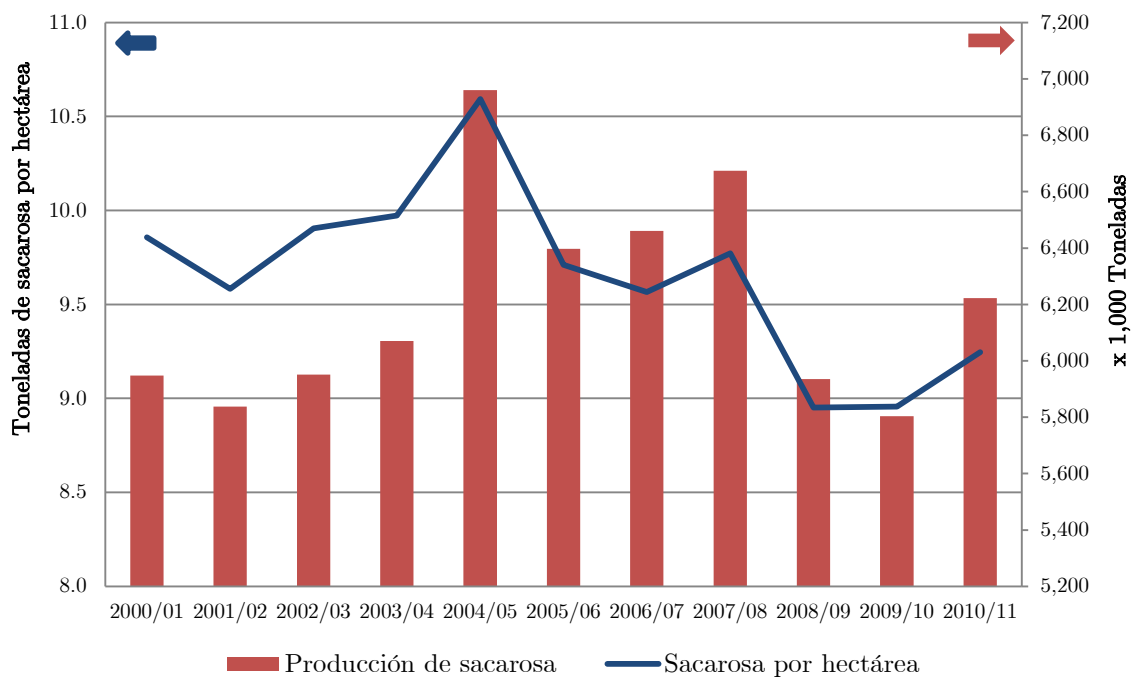
Fuente: UNC-CNPR (2011) con base en datos del USDA.

Figura 6. Rendimiento en campo y contenido de sacarosa en caña, 2000/01-2010/11



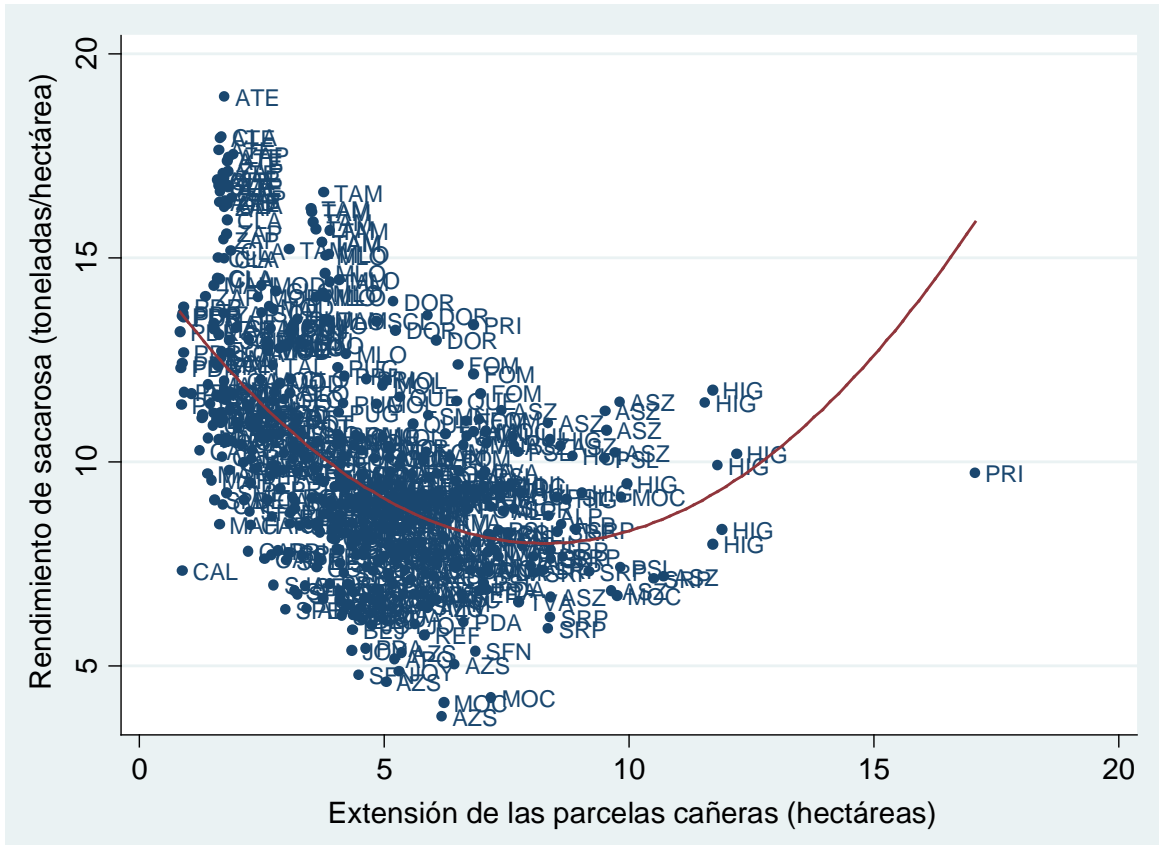
Fuente: UNC-CNPR (2010, 2011).

Figura 7. Producción de sacarosa, 2000/01-2010/11



Fuente: UNC-CNPR (2010, 2011).

Figura 8. Tamaño de las parcelas cañeras y rendimiento de sacarosa



Las abreviaturas corresponden a los siguientes ingenios: ALP-Adolfo López Mateos; APO-Alianza Popular; ASZ-Aarón Sáenz; ATE-Atencingo; AZS-Azsuremex (Tenosique); BEJ-Benito Juárez; BEL-Bellavista; CAL-Calipam; CAR-El Carmen; CLA-Casasano La Abeja; CMO-Central Motzorongo; CON-Constancia; CPR-Central Progreso; CUA-Cuatotolapam (Cía. Industrial Azucarera); DOR-El Dorado; FOM-Fomento Azucarero del Golfo (Zapoapita-Pánuco); GLO-La Gloria; HIG-El Higo; HUI-Huixtla; IND-Independencia; JMM-José María Morelos; JOY-La Joya; LCA-Lázaro Cárdenas; LCO-La Concepción; MAH-Mahuixtlan; MAN-El Mante; MLO-Melchor Ocampo; MOC-Los Mochis; MOD-El Modelo; MOL-El Molino; PAM-Pablo Machado (La Margarita); PDA-Plan de Ayala; PDR-Pedernales; POT-El Potrero; PRI-La Primavera; PRO-La Providencia; PSL-Plan de San Luis; PUG-Puga; PUJ-Pujiltic; QUE-Quesería; REF-El Refugio; SCL-Santa Clara; SCR-San Cristóbal; SDO-Santo Domingo; SFA-San Francisco Ameca; SFN-San Francisco El Naranjal (Nuevo San Francisco); SGA-San Gabriel; SJA-San José de Abajo; SMI-San Miguelito; SMN-San Miguel del Naranjo; SNC-San Nicolás; SPE-San Pedro; SRO-Santa Rosalía; SRP-San Rafael de Pucté; SSE-San Sebastián; TAL-Tala (José Ma. Martínez); TAM-Tamazula; TVA-Tres Valles; ZAP-Emiliano Zapata.

Figura 9. Regresión no paramétrica del rendimiento de sacarosa sobre el tamaño de las parcelas cañeras

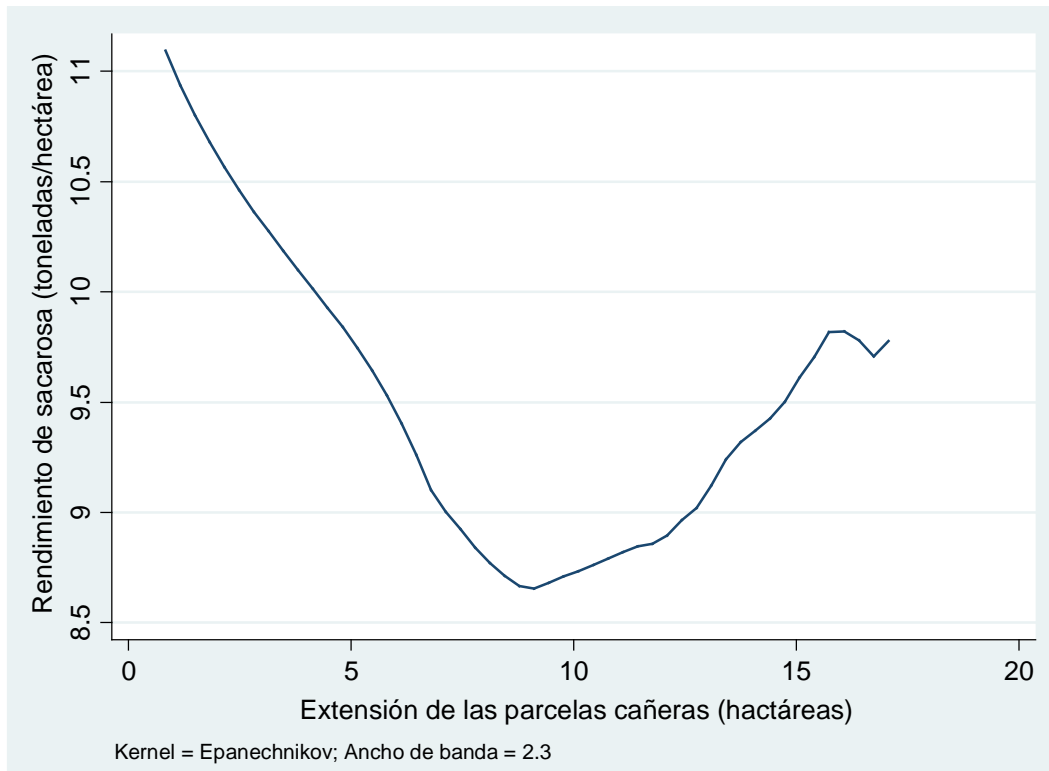
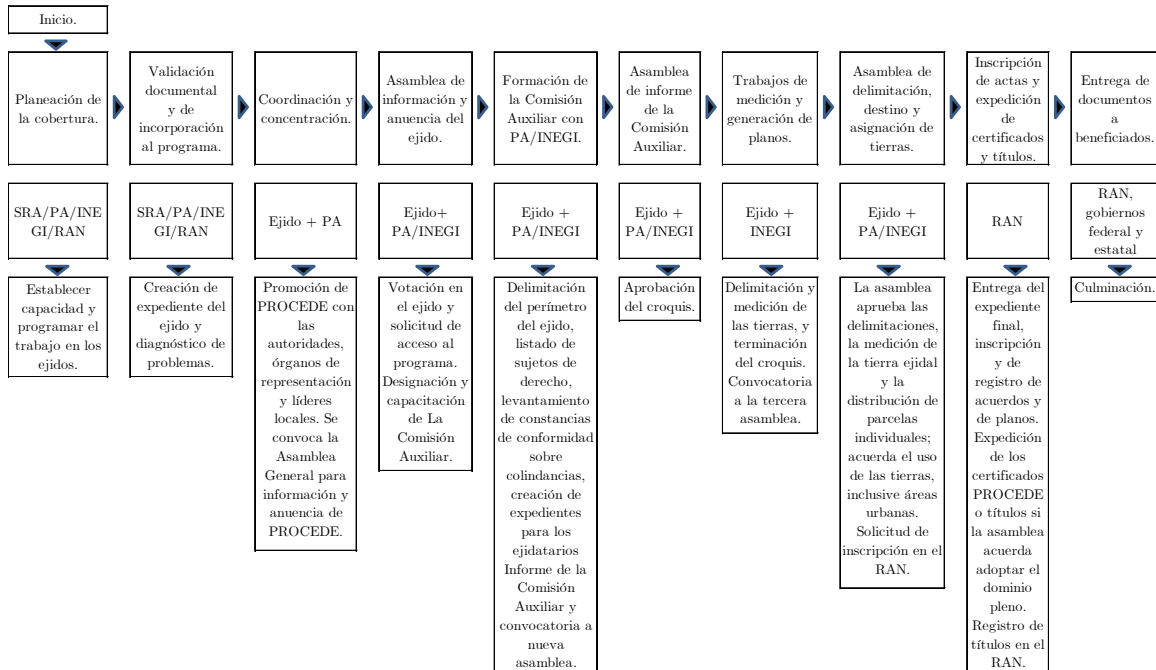


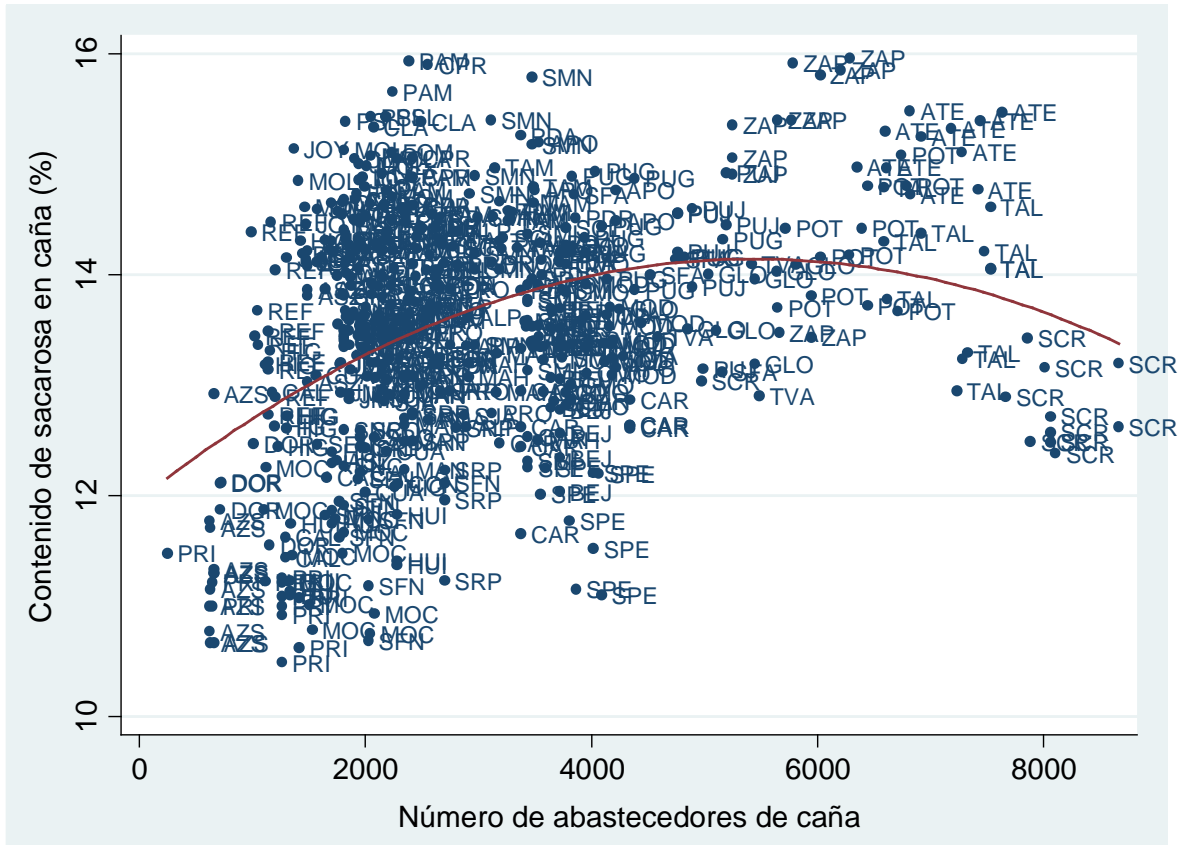
Figura 10. Principales etapas del proceso de certificación bajo el PROCEDE



PROCEDE- Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares Urbanos  
 PA.- Procuraduría Agraria  
 RAN.- Registro Agrario Nacional  
 SRA.- Secretaría de la Reforma Agraria

Fuente: Pérez Zamorano (2007, p. 90).

Figura 11. Número de abastecedores cañeros y calidad de la caña



Las abreviaturas corresponden a los siguientes ingenios: ALP-Adolfo López Mateos; APO-Alianza Popular; ASZ-Aarón Sáenz; ATE-Atencingo; AZS-Azuremex (Tenosique); BEJ-Benito Juárez; BEL-Bellavista; CAL-Calipam; CAR-El Carmen; CLA-Casasano La Abeja; CMO-Central Motzorongo; CON-Constancia; CPR-Central Progreso; CUA-Cuatotolapam (Cía. Industrial Azucarera); DOR-El Dorado; FOM-Fomento Azucarero del Golfo (Zapoapita-Pánuco); GLO-La Gloria; HIG-El Higo; HUI-Huixtla; IND-Independencia; JMM-José María Morelos; JOY-La Joya; LCA-Lázaro Cárdenas; LCO-La Concepción; MAH-Mahuixtlan; MAN-El Mante; MLO-Melchor Ocampo; MOC-Los Mochis; MOD-El Modelo; MOL-El Molino; PAM-Pablo Machado (La Margarita); PDA-Plan de Ayala; PDR-Pedernales; POT-El Potrero; PRI-La Primavera; PRO-La Providencia; PSL-Plan de San Luis; PUG-Puga; PUJ-Pujilic; QUE-Quesería; REF-El Refugio; SCL-Santa Clara; SCR-San Cristóbal; SDO-Santo Domingo; SFA-San Francisco Ameca; SFN-San Francisco El Naranjal (Nuevo San Francisco); SGA-San Gabriel; SJA-San José de Abajo; SMI-San Miguelito; SMN-San Miguel del Naranjo; SNC-San Nicolás; SPE-San Pedro; SRO-Santa Rosalía; SRP-San Rafael de Pucté; SSE-San Sebastián; TAL-Tala (José Ma. Martínez); TAM-Tamazula; TVA-Tres Valles; ZAP-Emiliano Zapata.

Figura 12. Regresión no paramétrica de la calidad de la caña sobre el número de abastecedores cañeros

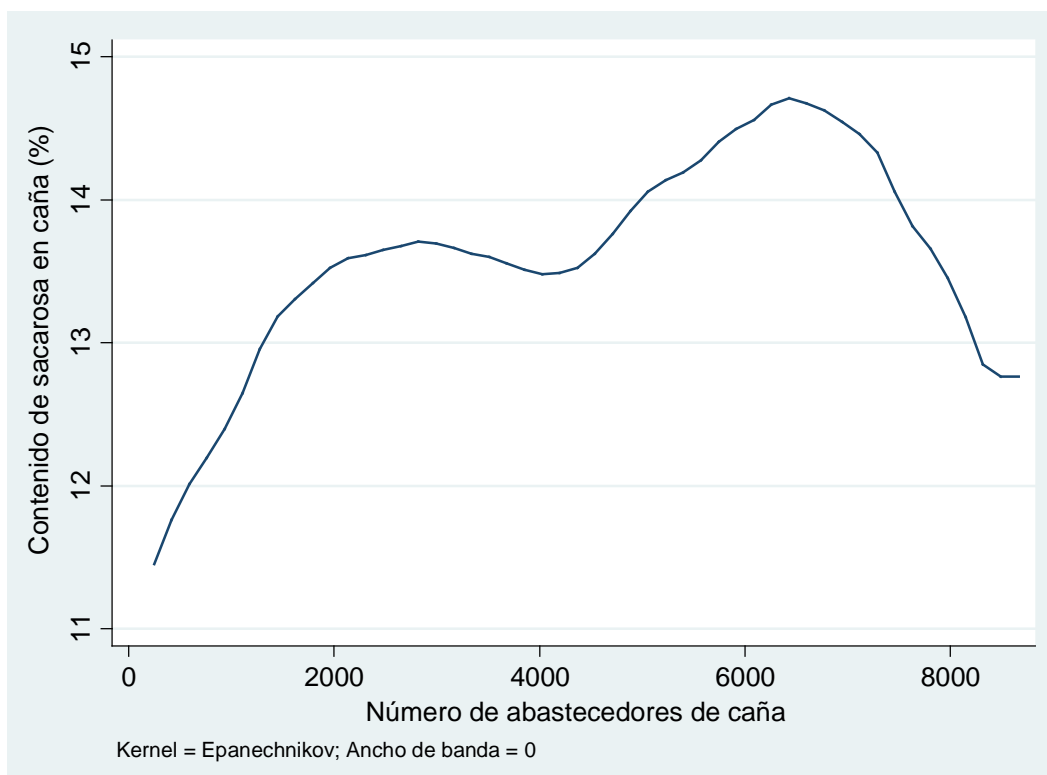
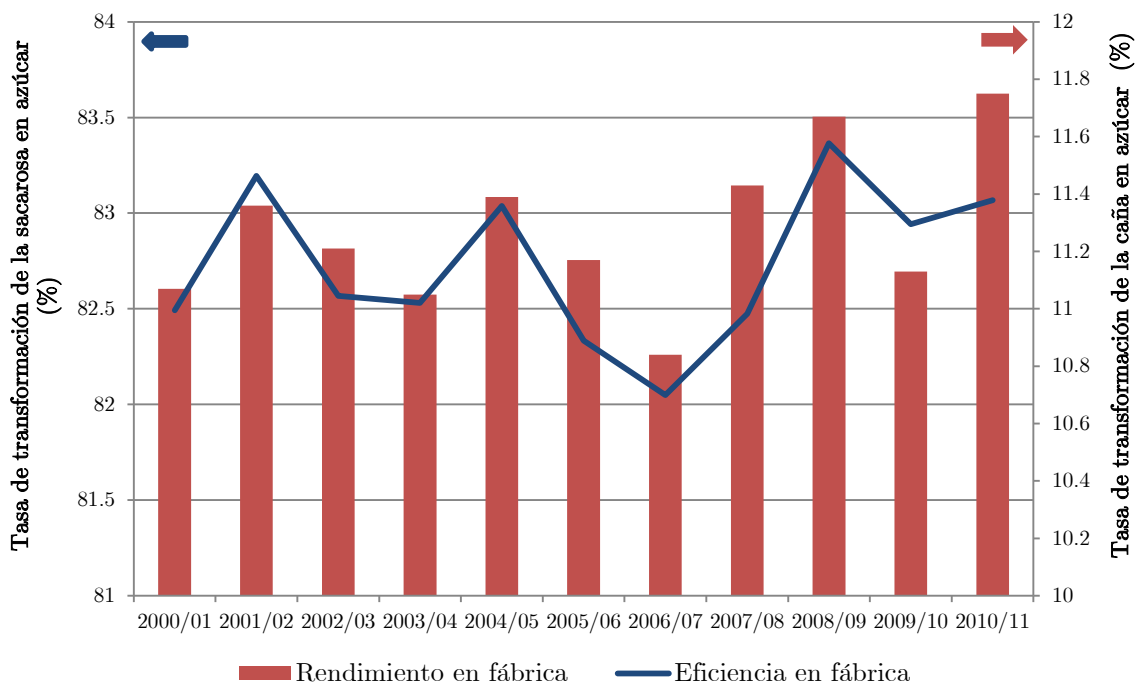
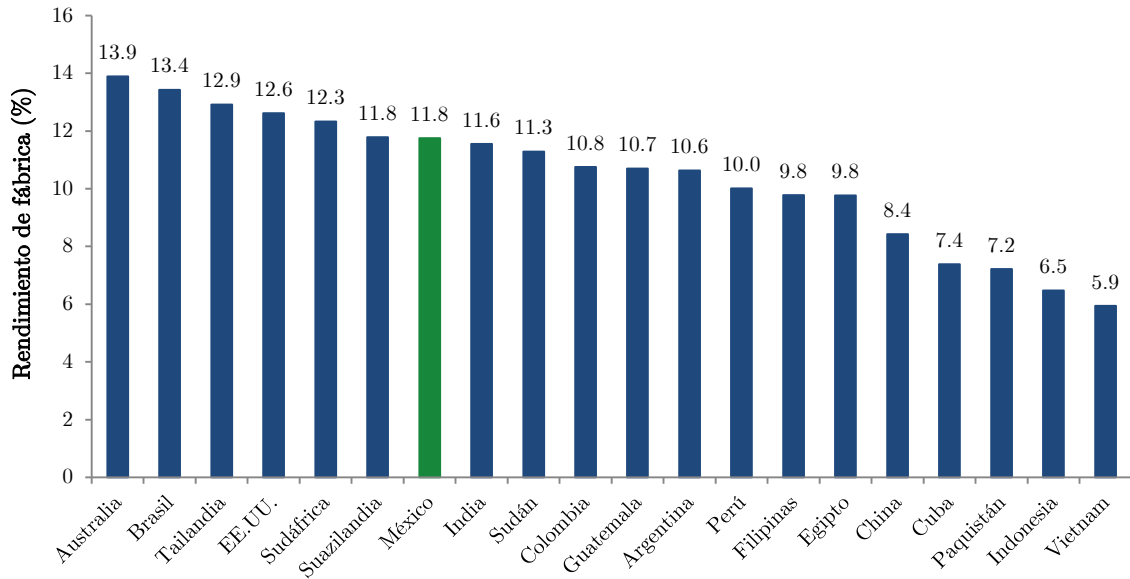


Figura 13. Productividad de los ingenios



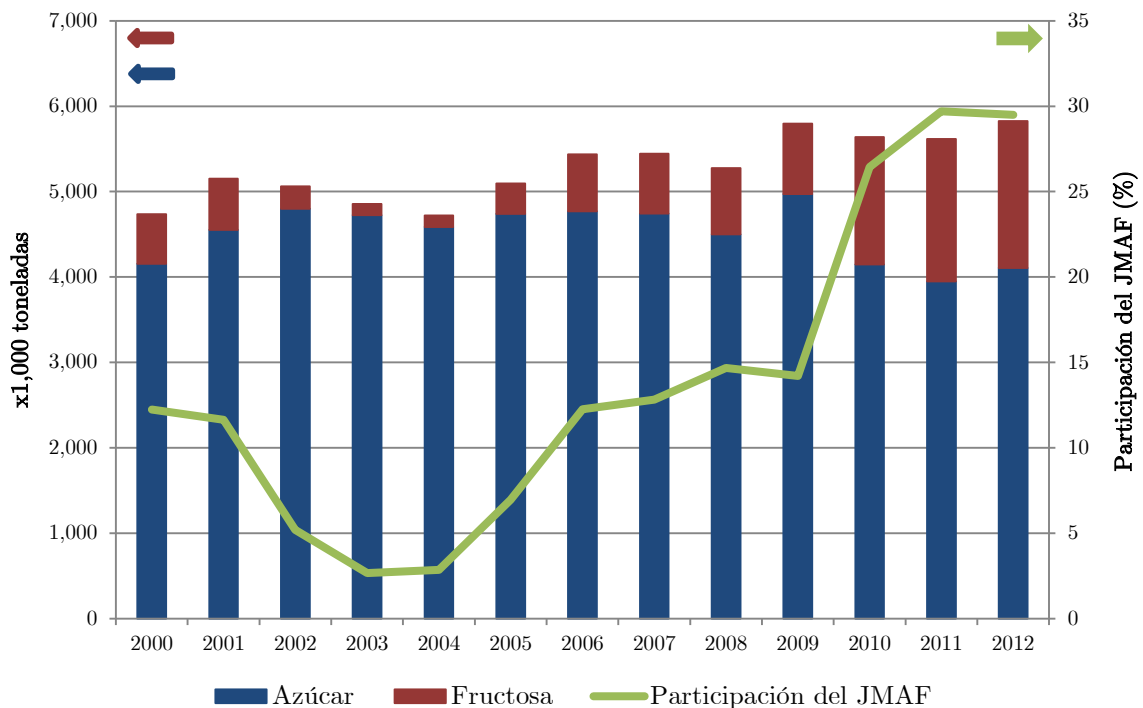
Fuente: UNC-CNPR (2010, 2011).

Figura 14. Comparativo internacional de rendimientos de fábrica en 2011



Fuente: UNC-CNPR (2011) con base en datos del USDA.

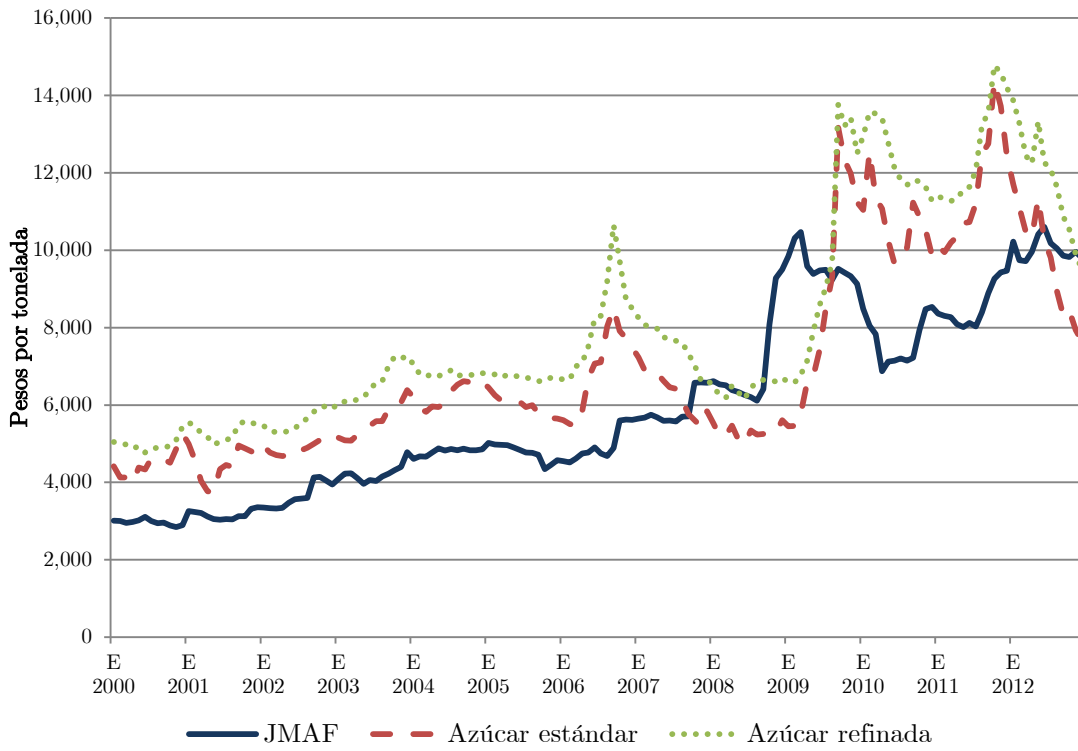
Figura A1.1. Consumo de azúcar y JMAF en México



Fuente: La información hasta 2008 se obtuvo del estudio titulado “Análisis del Mercado de los Edulcorantes en México” elaborado por Luis Ramiro García Chávez. A 2009 utilizamos los datos reportados en el Balance Nacionales de Azúcar y Edulcorantes elaborado por el CONADESUCA.

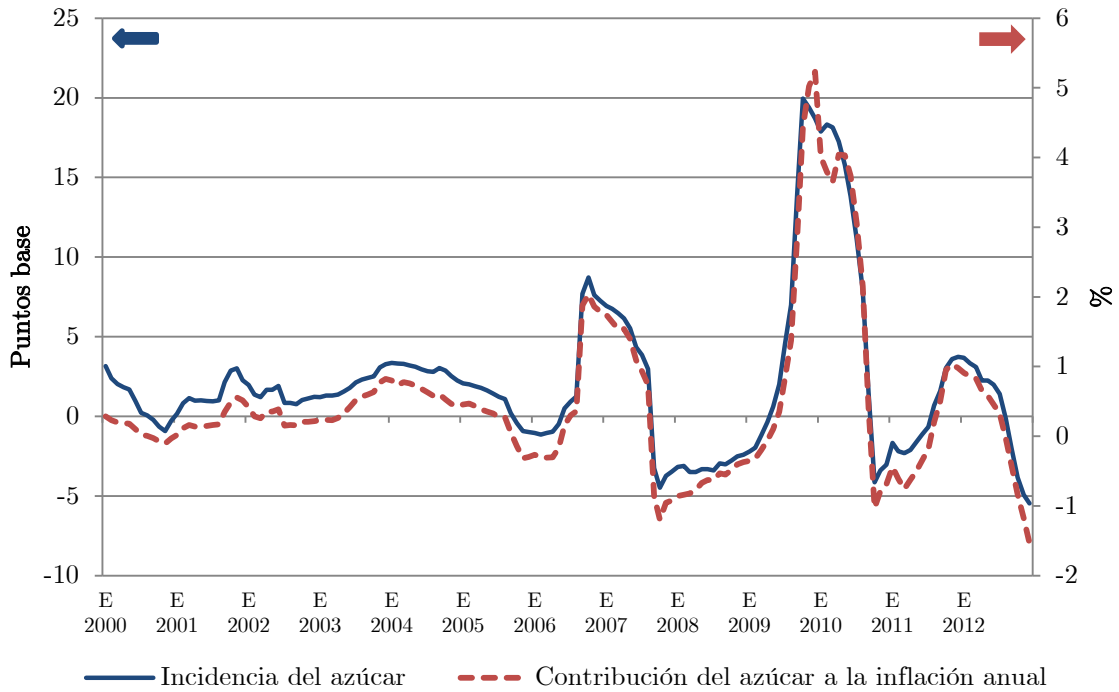


Figura A1.2. Comparativo de precios al mayoreo del azúcar y JMAF



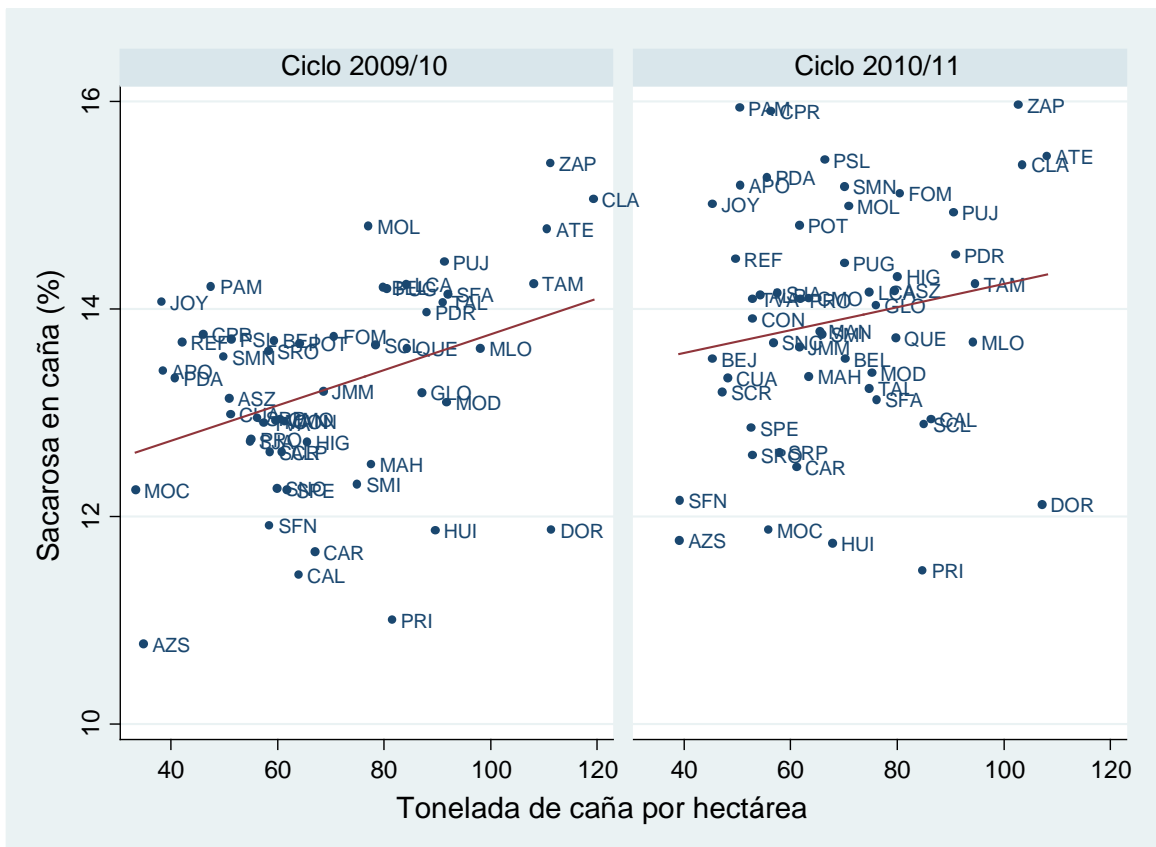
Fuente: SNIIM y USDA.

Figura A2.1. Contribución del azúcar a la dinámica inflacionaria



Fuente: Banco de México e INEGI.

Figura A3.1. Cantidad y calidad de la caña de azúcar, ciclos 2009/10 y 2010/11



Las abreviaturas corresponden a los siguientes ingenios: ALP-Adolfo López Mateos; APO-Alianza Popular; ASZ-Aarón Sáenz; ATE-Atencingo; AZS-Azuremex (Tenosique); BEJ-Benito Juárez; BEL-Bellavista; CAL-Calipam; CAR-El Carmen; CLA-Casasano La Abeja; CMO-Central Motzorongo; CON-Constancia; CPR-Central Progreso; CUA-Cuatotolapam (Cía. Industrial Azucarera); DOR-El Dorado; FOM-Fomento Azucarero del Golfo (Zapoapita-Pánuco); GLO-La Gloria; HIG-El Higo; HUI-Huixtla; IND-Independencia; JMM-José María Morelos; JOY-La Joya; LCA-Lázaro Cárdenas; LCO-La Concepción; MAH-Mahuixtlan; MAN-El Mante; MLO-Melchor Ocampo; MOC-Los Mochis; MOD-El Modelo; MOL-El Molino; PAM-Pablo Machado (La Margarita); PDA-Plan de Ayala; PDR-Pedernales; POT-El Potrero; PRI-La Primavera; PRO-La Providencia; PSL-Plan de San Luis; PUG-Puga; PUJ-Pujiltilic; QUE-Quesería; REF-El Refugio; SCL-Santa Clara; SCR-San Cristóbal; SDO-Santo Domingo; SFA-San Francisco Ameca; SFN-San Francisco El Naranjal (Nuevo San Francisco); SGA-San Gabriel; SJA-San José de Abajo; SMI-San Miguelito; SMN-San Miguel del Naranjo; SNC-San Nicolás; SPE-San Pedro; SRO-Santa Rosalía; SRP-San Rafael de Pucté; SSE-San Sebastián; TAL-Tala (José Ma. Martínez); TAM-Tamazula; TVA-Tres Valles; ZAP-Emiliano Zapata.

Tabla 1. Producción de caña de azúcar y azúcar por estado (zafra 2010/11)

| Estado          | Ingenios | Superficie industrializada<br>(Hectáreas) | Caña molida neta<br>(Toneladas) | Aportación a producción nacional de caña<br>(%) | Azúcar<br>(Toneladas) | Aportación a producción nacional de azúcar<br>(%) |
|-----------------|----------|---|---------------------------------|---|-----------------------|---|
| Veracruz        | 19       | 268,516                                   | 15,618,455                      | 36.72   | 1,892,096             | 36.50   |
| San Luis Potosí | 4        | 74,299                                    | 4,361,525                       | 10.26   | 576,060               | 11.11   |
| Jalisco         | 6        | 62,941                                    | 4,834,359                       | 11.37   | 571,187               | 11.02   |
| Oaxaca          | 3        | 46,777                                    | 2,357,495                       | 5.54  | 305,765               | 5.90  |
| Chiapas         | 2        | 30,115                                    | 2,357,689                       | 5.54  | 288,573               | 5.57  |
| Nayarit         | 2        | 27,107                                    | 1,868,606                       | 4.39  | 233,053               | 4.50  |
| Tamaulipas      | 2        | 28,320                                    | 1,900,592                       | 4.47  | 231,022               | 4.46  |
| Morelos         | 2        | 15,503                                    | 1,596,413                       | 3.75  | 206,118               | 3.98  |
| Puebla          | 2        | 15,291                                    | 1,596,305                       | 3.75  | 204,923               | 3.95  |
| Quintana Roo    | 1        | 25,723                                    | 1,364,920                       | 3.21  | 153,312               | 2.96  |
| Tabasco         | 3        | 29,081                                    | 1,316,025                       | 3.09  | 140,156               | 2.70  |
| Sinaloa         | 3        | 15,228                                    | 1,128,555                       | 2.65  | 118,142               | 2.28  |
| Colima          | 1        | 12,458                                    | 962,807                         | 2.26  | 113,059               | 2.18  |
| Michoacán       | 3        | 10,791                                    | 890,341                         | 2.09  | 104,832               | 2.02  |
| Campeche        | 1        | 8,514                                     | 375,135                         | 0.88  | 45,202                | 0.87  |
| Total           | 54       | 670,664                                   | 42,529,222                      |   | 5,183,500             |   |

Fuente: CNIA.

Tabla 2. Ingenios en operación durante el ciclo 2010/11

| Grupo/Ingenio                 | Producción (Toneladas) | % del total nacional | Grupo/Ingenio                 | Producción (Toneladas) | % de total nacional | Grupo/Ingenio                      | Producción (Toneladas) | % de total nacional |
|-------------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------|------------------------------------|------------------------|---------------------|
| <b>FEESA</b>                  | <b>1,077,032</b>       | <b>20.78%</b>        | <b>PIASA</b>                  | <b>402,864</b>         | <b>7.77%</b>        | <b>Grupo Porres</b>                | <b>200,962</b>         | <b>3.88%</b>        |
| Atencingo                     | 192,400                | 3.71%                | Tres Valles                   | 227,805                | 4.39%               | Huixtla                            | 89,286                 | 1.72%               |
| San Cristóbal                 | 179,936                | 3.47%                | Adolfo López Mateos           | 175,059                | 3.38%               | San Pedro                          | 67,757                 | 1.31%               |
| El Potrero                    | 166,831                | 3.22%                | <b>Grupo Sáenz</b>            | <b>369,850</b>         | <b>7.14%</b>        | Santa Clara                        | 43,919                 | 0.85%               |
| Emiliano Zapata               | 145,062                | 2.80%                | Tamazula                      | 138,828                | 2.68%               | <b>Grupo Azucarero del Trópico</b> | <b>191,606</b>         | <b>3.70%</b>        |
| Plan de San Luis              | 136,057                | 2.62%                | Aarón Sáenz                   | 127,506                | 2.46%               | La Gloria                          | 146,404                | 2.82%               |
| El Modelo                     | 79,060                 | 1.53%                | El Mante                      | 103,516                | 2.00%               | La Joya                            | 45,202                 | 0.87%               |
| La Providencia                | 77,552                 | 1.50%                | <b>Grupo Santos</b>           | <b>350,583</b>         | <b>6.76%</b>        | <b>Motzorongo</b>                  | <b>170,674</b>         | <b>3.29%</b>        |
| Casasano La Abeja             | 61,056                 | 1.18%                | Plan de Ayala                 | 118,167                | 2.28%               | Central Motzorongo                 | 128,980                | 2.49%               |
| San Miguelito                 | 39,078                 | 0.75%                | Alianza Popular               | 115,460                | 2.23%               | El Refugio                         | 41,694                 | 0.80%               |
| <b>Beta San Miguel</b>        | <b>702,375</b>         | <b>13.55%</b>        | Cuatotolapam                  | 47,077                 | 0.91%               | <b>Grupo García González</b>       | <b>93,381</b>          | <b>1.80%</b>        |
| San Miguel del Naranjo        | 206,376                | 3.98%                | Bellavista                    | 35,183                 | 0.68%               | El Carmen                          | 49,212                 | 0.95%               |
| San Rafael de Pucté           | 153,312                | 2.96%                | Pedernales                    | 34,696                 | 0.67%               | Nuevo San Francisco                | 31,646                 | 0.61%               |
| Quesería                      | 113,059                | 2.18%                | <b>Grupo Azucarero México</b> | <b>316,512</b>         | <b>6.11%</b>        | Calipam                            | 12,523                 | 0.24%               |
| San Francisco Ameca           | 92,771                 | 1.79%                | Tala (José María Martínez)    | 159,808                | 3.08%               | <b>Independientes</b>              | <b>556,600</b>         | <b>10.74%</b>       |
| Constancia                    | 89,192                 | 1.72%                | Benito Juárez                 | 82,009                 | 1.58%               | Pánuco                             | 152,275                | 2.94%               |
| Santa Rosalía de la Chontalpa | 47,665                 | 0.92%                | El Dorado                     | 48,478                 | 0.94%               | Puga                               | 140,834                | 2.72%               |
| <b>Zucarmex</b>               | <b>533,229</b>         | <b>10.29%</b>        | Lázaro Cárdenas               | 26,217                 | 0.51%               | El Molino                          | 92,220                 | 1.78%               |
| Pujilic                       | 199,287                | 3.84%                | <b>La Margarita</b>           | <b>217,837</b>         | <b>4.20%</b>        | San Nicolás                        | 72,618                 | 1.40%               |
| El Higo                       | 163,533                | 3.15%                | La Margarita                  | 89,013                 | 1.72%               | San José de Abajo                  | 52,845                 | 1.02%               |
| Melchor Ocampo                | 93,964                 | 1.81%                | Central Progreso              | 78,191                 | 1.51%               | Los Mochis                         | 35,326                 | 0.68%               |
| Mahuixtlán                    | 42,107                 | 0.81%                | José María Morelos            | 50,633                 | 0.98%               | Azsuremex (Tenosique)              | 10,482                 | 0.20%               |
| La Primavera                  | 34,338                 | 0.66%                |                               |                        |                     |                                    |                        |                     |

Fuente: CNIA.

**Tabla 3. Descripción de las variables**

|                         | <b>Unidad</b>            | <b>Descripción</b>  | <b>Fuente</b>  |
|-------------------------|--------------------------|---|--|
| Abastecedores cañeros   | Personas                 | Número de agricultores que abastecen de caña a los ingenios                                     | CEMA (2002 a 2012)   |
| Administración ingenio  | 0=Gobierno;<br>1=Privado | Propiedad gubernamental o privada del ingenio   | CEMA (2002 a 2012)   |
| Altitud                 | MSNM                     | Metros sobre el nivel del mar correspondientes a la ubicación del ingenio                       | CEMA (2002 a 2012)   |
| Alzado mecánico         | %                        | Fracción de caña alzada mecánicamente y puesta sobre camiones de transporte al ingenio          | UNC-CNPR (2010, 2011)  |
| Caña                    | Ton/ha                   | Toneladas de caña de azúcar producida por hectárea  | UNC-CNPR (2010, 2011)  |
| Consumo electricidad    | kWh/Ton                  | Consumo de electricidad por tonelada de caña molida   | UNC-CNPR (2010, 2011)  |
| Consumo petróleo        | Lts/Ton                  | Litros de petróleo utilizados por tonelada de caña molida                                       | UNC-CNPR (2010, 2011)  |
| Consumo vapor           | Ton/Ton                  | Toneladas de vapor utilizadas por tonelada de caña molida                                       | UNC-CNPR (2010, 2011)  |
| Contenido sacarosa      | %                        | Concentración de sacarosa en la caña  | UNC-CNPR (2010, 2011)  |
| Cortadores              | Personas/ha              | Número de cortadores de caña normalizado por la superficie industrializada                      | Elaboración propia con datos de UNC-CNPR (2010, 2011)  |
| Cosecha mecánica        | %                        | Fracción de caña cortada y alzada mecánicamente   | UNC-CNPR (2010, 2011)  |
| Eficiencia de fábrica   | %                        | Tasa de transformación de sacarosa en azúcar  | UNC-CNPR (2010, 2011)  |
| Fertilizante            | Kg/ha                    | Primera dosis de fertilizante por hectárea  | CEMA (2002 a 2012)   |
| Generación electricidad | kWh/Ton                  | Generación de electricidad por tonelada de caña molida  | UNC-CNPR (2010, 2011)  |
| Tamaño parcela          | Hectáreas                | Tamaño promedio de las parcelas cañeras, medido por el número de hectáreas por productor cañero | Elaboración propia con datos sobre superficie industrializada proveniente de UNC-CNPR (2010, 2011) y del número de abastecedores de caña a cada ingenio obtenida de CEMA (2002 a 2012) |
| Precipitación           | Milímetros               | Precipitación acumulada durante los 18 meses previos al inicio de cada zafra                    | Elaboración propia con datos de CONAGUA  |
| Producción alcohol      | Lts/Ton                  | Litros de alcohol producidos por tonelada de caña molida  | UNC-CNPR (2010, 2011)  |

**Tabla 3 (continuación)**

|                             |             |   |   |
|-----------------------------|-------------|---|---|
| Rendimiento de fábrica      | %           | Tasa de transformación de caña en azúcar  | UNC-CNPR (2010, 2011)                                 |
| Riego                       | %           | Fracción de la superficie industrializada con sistema de irrigación   | CEMA (2002 a 2012)                                    |
| Sacarosa                    | Ton/ha      | Toneladas de sacarosa producida por hectárea  | Elaboración propia con datos de UNC-CNPR (2010, 2011) |
| Tiempo perdido campo        | %           | Fracción de tiempo perdido en campo   | UNC-CNPR (2010, 2011)                                 |
| Tiempo perdido fábrica      | %           | Fracción de tiempo perdido en fábrica   | UNC-CNPR (2010, 2011)                                 |
| Tiempo perdido festividades | %           | Fracción de tiempo perdido por días festivos  | UNC-CNPR (2010, 2011)                                 |
| Tiempo perdido lluvia       | %           | Fracción de tiempo perdido por lluvia   | UNC-CNPR (2010, 2011)                                 |
| Tiempo perdido personal     | %           | Fracción de tiempo perdido en personal  | UNC-CNPR (2010, 2011)                                 |
| Tiempo perdido total        | %           | Fracción de tiempo perdido total  | UNC-CNPR (2010, 2011)                                 |
| Vehículos                   | Camiones/ha | Número de camiones para el transporte de la caña del campo al ingenio normalizado por la superficie industrializada | Elaboración propia con datos de UNC-CNPR (2010, 2011) |

Tabla 4. Estadísticas descriptivas

|                            | Unidad         | Zafras 2000/01-2010/11 |          |                |        |        | Zafra 2010/11 |          |                |        |        |
|----------------------------|----------------|------------------------|----------|----------------|--------|--------|---------------|----------|----------------|--------|--------|
|                            |                | N                      | Promedio | Desv. Estándar | Mínimo | Máximo | N             | Promedio | Desv. Estándar | Mínimo | Máximo |
| Abastecedores cañeros      | Personas       | 541                    | 3,012    | 1,659          | 246    | 8,663  | 54            | 3,071    | 1,833          | 246    | 8,663  |
| Administración ingenio     | 0=Gob.;1=Priv. | 594                    | 0.7      | 0.5            | 0      | 1      | 54            | 0.8      | 0.4            | 0      | 1      |
| Altitud                    | MSNM           | 594                    | 481.9    | 491.0          | 3      | 1359   | 54            | 481.9    | 491.0          | 3      | 1359   |
| Alzado mecánico            | %              | 514                    | 81.7     | 21.0           | 0.02   | 100    | 51            | 83.4     | 18.5           | 8.5    | 100    |
| Caña                       | Ton/ha         | 594                    | 74.6     | 18.6           | 33.4   | 124.3  | 54            | 68.2     | 17.6           | 39.1   | 108.1  |
| Consumo electricidad       | kWh/Ton        | 594                    | 17.3     | 4.9            | 0      | 37.7   | 54            | 18.1     | 4.6            | 8.9    | 28.2   |
| Consumo petróleo           | Lts/Ton        | 594                    | 7.9      | 8.0            | 0      | 38.7   | 54            | 2.3      | 3.0            | 0      | 11.1   |
| Consumo vapor              | Ton/Ton        | 594                    | 0.6      | 1.3            | 0      | 31.5   | 54            | 0.5      | 0.1            | 0      | 0.7    |
| Contenido sacarosa         | %              | 594                    | 13.5     | 1.1            | 10.3   | 16     | 54            | 13.9     | 1.1            | 11.5   | 16     |
| Cortadores                 | Personas/ha    | 539                    | 0.11     | 0.05           | 0.01   | 0.39   | 54            | 0.1      | 0.1            | 0.02   | 0.28   |
| Cosecha mecánica           | %              | 376                    | 21.7     | 19.9           | 0.03   | 100    | 42            | 23.4     | 23.8           | 0.04   | 100    |
| Eficiencia de fábrica      | %              | 594                    | 82.3     | 3.1            | 64.2   | 88.4   | 54            | 82.5     | 3.2            | 72.1   | 87.9   |
| Fertilizante               | Kg/ha          | 553                    | 602.2    | 137.6          | 150    | 1050   | 51            | 585.8    | 148.5          | 200    | 1000   |
| Generación electricidad    | kWh/Ton        | 594                    | 17.3     | 4.9            | 0      | 37.7   | 54            | 18.1     | 4.6            | 8.9    | 28.2   |
| Tamaño parcela             | Hectáreas      | 541                    | 4.5      | 2.3            | 0.8    | 17.1   | 54            | 4.7      | 2.8            | 0.8    | 17.1   |
| Precipitación              | Milímetros     | 594                    | 2,498    | 1,146          | 282    | 7,548  | 54            | 2,610    | 1,183          | 606    | 6,671  |
| Producción alcohol         | Lts/Ton        | 594                    | 0.7      | 2.1            | 0      | 15.0   | 54            | 0.4      | 1.4            | 0      | 8.2    |
| Rendimiento de fábrica     | %              | 594                    | 11.1     | 1.1            | 7.5    | 13.2   | 54            | 11.5     | 1.1            | 8.5    | 13.2   |
| Riego                      | %              | 577                    | 47.9     | 44.0           | 0      | 100    | 53            | 48.5     | 43.9           | 0      | 100    |
| Sacarosa                   | Ton/ha         | 594                    | 10.1     | 2.8            | 3.8    | 19.0   | 54            | 9.5      | 2.7            | 4.6    | 16.7   |
| Tiempo perdido campo       | %              | 594                    | 4.2      | 4.3            | 0      | 27.6   | 54            | 2.4      | 2.9            | 0      | 14.6   |
| Tiempo perdido fábrica     | %              | 594                    | 9.7      | 5.3            | 1.2    | 32.5   | 54            | 9.8      | 5.8            | 1.2    | 25.6   |
| Tiempo perdido festividade | %              | 594                    | 0.7      | 1.0            | 0      | 5.3    | 54            | 0.4      | 0.9            | 0      | 3.7    |
| Tiempo perdido lluvia      | %              | 594                    | 4.2      | 5.0            | 0      | 39.8   | 54            | 1.8      | 3.3            | 0      | 17.2   |
| Tiempo perdido personal    | %              | 594                    | 1.3      | 1.9            | 0      | 19.7   | 54            | 0.9      | 1.3            | 0      | 5.2    |
| Tiempo perdido total       | %              | 594                    | 20.2     | 8.5            | 3.3    | 53.6   | 54            | 15.4     | 8.5            | 3.3    | 47.7   |
| Vehículos                  | Camiones/ha    | 534                    | 0.02     | 0.01           | 0.003  | 0.13   | 53            | 0.0      | 0.0            | 0.01   | 0.05   |

Tabla 5. Extensión de los predios cañeros y rendimientos de sacarosa

|                                | Variable dependiente: Producción de sacarosa por hectárea |                      |                     |                       |                       |                      |                     |                      |                      |                     |                      |                      |                      |
|--------------------------------|---|----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                                | (1)   | (2)                  | (3)                 | (4)                   | (5)                   | (6)                  | (7)                 | (8)                  | (9)                  | (10)                | (11)                 | (12)                 | (13)                 |
| Tamaño parcela                 | -1.691***<br>(0.372)                                      | -1.699***<br>(0.368) | -0.733**<br>(0.306) | -0.708**<br>(0.278)   | -0.769***<br>(0.258)  | -0.701*<br>(0.385)   | -0.415<br>(0.252)   | -0.549<br>(0.436)    | -0.088<br>(0.362)    | 0.102<br>(0.366)    | -0.781**<br>(0.318)  | 0.239<br>(0.240)     | 0.166<br>(0.278)     |
| Tamaño parcela <sup>2</sup>    | 0.102***<br>(0.029)                                       | 0.103***<br>(0.029)  | 0.045**<br>(0.021)  | 0.041**<br>(0.019)    | 0.044**<br>(0.018)    | 0.045<br>(0.027)     | 0.018<br>(0.016)    | 0.028<br>(0.026)     | -0.003<br>(0.026)    | -0.017<br>(0.025)   | 0.051**<br>(0.022)   | -0.018<br>(0.018)    | -0.011<br>(0.020)    |
| Precipitación                  |   |                      |                     | -0.0004**<br>(0.0001) | -0.001***<br>(0.0002) | -0.001**<br>(0.0002) | 0.0003*<br>(0.0002) | -0.001**<br>(0.0003) | 0.001***<br>(0.0001) | 0.0001<br>(0.0002)  | -0.003<br>(0.0002)   | 0.001***<br>(0.0002) | 0.0004**<br>(0.0002) |
| Administración ingenio         |   |                      |                     | -0.007<br>(0.460)     | 0.228<br>(0.398)      | 0.037<br>(0.474)     | -0.204<br>(0.377)   | 0.658<br>(0.585)     | 0.223<br>(0.299)     | 0.529<br>(0.371)    | -0.23<br>(0.411)     | -0.789**<br>(0.360)  | -0.758*<br>(0.426)   |
| Fertilizante                   |   |                      |                     |                       | -0.016*<br>(0.008)    |                      |                     |                      | -0.008<br>(0.008)    | -0.003<br>(0.008)   | -0.027***<br>(0.006) | -0.013*<br>(0.007)   | -0.01<br>(0.007)     |
| Fertilizante <sup>2</sup>      |   |                      |                     |                       | 0.000**<br>(0.000)    |                      |                     |                      | 0.000<br>(0.000)     | 0.000<br>(0.000)    | 0.000***<br>(0.000)  | 0.000**<br>(0.000)   | 0.000**<br>(0.000)   |
| Alzado mecánico                |   |                      |                     |                       |                       | -0.013<br>(0.010)    |                     |                      | -0.015*<br>(0.008)   | -0.018<br>(0.014)   |                      | 0.005<br>(0.009)     | 0.001<br>(0.016)     |
| Vehículos                      |   |                      |                     |                       |                       | 15.301<br>(19.839)   |                     |                      | 20.807<br>(13.086)   | 13.093<br>(14.007)  |                      | 8.136<br>(14.474)    | 5.62<br>(13.484)     |
| Cortadores                     |   |                      |                     |                       |                       | -1.065<br>(7.206)    |                     |                      | 4.154<br>(3.801)     | 7.595<br>(6.404)    |                      | 6.854<br>(4.990)     | 15.253**<br>(6.092)  |
| Riego                          |   |                      |                     |                       |                       |                      | 0.039***<br>(0.006) |                      | 0.037***<br>(0.006)  | 0.038***<br>(0.006) |                      | 0.042***<br>(0.006)  | 0.041***<br>(0.006)  |
| Cosecha mecánica               |   |                      |                     |                       |                       |                      |                     | 0.035*<br>(0.020)    |                      | 0.018<br>(0.013)    |                      |                      | 0.014<br>(0.019)     |
| Altitud                        |   |                      |                     |                       |                       |                      |                     |                      |                      |                     | 0.002***<br>(0.001)  | 0.002***<br>(0.0005) | 0.003***<br>(0.001)  |
| Constante                      | 15.010***<br>(1.090)                                      | 15.377***<br>(1.094) | 8.824***<br>(1.086) | 9.661***<br>(1.069)   | 14.384***<br>(3.052)  | 10.593***<br>(1.650) | 7.231***<br>(1.026) | 8.962***<br>(1.853)  | 8.844**<br>(3.385)   | 6.819*<br>(3.630)   | 19.810***<br>(2.156) | 7.267**<br>(3.024)   | 6.052<br>(3.732)     |
| Dummies por zafra              | no  | sí                   | sí                  | sí                    | sí                    | sí                   | sí                  | sí                   | sí                   | sí                  | sí                   | sí                   | sí                   |
| Dummies por estado             | no  | no                   | sí                  | sí                    | sí                    | sí                   | sí                  | sí                   | sí                   | sí                  | no                   | no                   | no                   |
| N                              | 541   | 541                  | 541                 | 541                   | 506                   | 480                  | 524                 | 356                  | 434                  | 327                 | 506                  | 434                  | 327                  |
| R <sup>2</sup>                 | 0.318   | 0.347                | 0.620               | 0.635                 | 0.697                 | 0.651                | 0.711               | 0.710                | 0.782                | 0.812               | 0.573                | 0.725                | 0.755                |
| Tamaño crítico de las parcelas | 8.3   | 8.2                  | 8.1                 | 8.6                   | 8.7                   | 7.8                  | irrelevante         | irrelevante          | irrelevante          | irrelevante         | 7.7                  | irrelevante          | irrelevante          |

Los errores estándar ajustados por heteroscedasticidad y agrupados por municipio se muestran en paréntesis. La Tabla 3 presenta la definición de cada variable. Los asteriscos denotan significancia estadística a niveles del \*10%, \*\*5% y \*\*\*1%.



Tabla 6. Extensión de los predios cañeros y utilización de insumos

|                                | Variable dependiente   |                        |                      |                       |                      |                      |                      |                      |                       |                       |                     |                     |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
|                                | Fertilizante           |                        | Alzado mecánico      |                       | Vehículos            |                      | Cortadores           |                      | Riego                 |                       | Cosecha mecánica    |                     |
|                                | (1)                    | (2)                    | (3)                  | (4)                   | (5)                  | (6)                  | (7)                  | (8)                  | (9)                   | (10)                  | (11)                | (12)                |
| Tamaño parcela                 | -1.3<br>(5.532)        | -23.106*<br>(11.556)   | -0.482<br>(1.170)    | 3.771<br>(4.600)      | -0.002***<br>(0.000) | -0.003*<br>(0.002)   | -0.008***<br>(0.002) | -0.024***<br>(0.004) | 0.114<br>(2.334)      | -7.261<br>(5.611)     | 1.518**<br>(0.570)  | 1.835<br>(2.276)    |
| Tamaño parcela <sup>2</sup>    |                        | 1.730**<br>(0.809)     |                      | -0.358<br>(0.317)     |                      | 0.0001<br>(0.0001)   |                      | 0.001***<br>(0.000)  |                       | 0.585<br>(0.426)      |                     | -0.023<br>(0.125)   |
| Precipitación                  | -0.003<br>(0.008)      | -0.002<br>(0.008)      | -0.003*<br>(0.002)   | -0.004*<br>(0.002)    | 0.000<br>(0.000)     | 0.000<br>(0.000)     | -0.000**<br>(0.000)  | 0.000<br>(0.000)     | -0.020***<br>(0.004)  | -0.020***<br>(0.004)  | 0.001<br>(0.001)    | 0.001<br>(0.001)    |
| Administración ingenio         | -20.424<br>(19.026)    | -18.078<br>(18.772)    | 1.498<br>(4.965)     | 1.305<br>(4.840)      | -0.008***<br>(0.002) | -0.008***<br>(0.002) | -0.001<br>(0.007)    | 0<br>(0.006)         | 3.734<br>(7.004)      | 4.68<br>(6.794)       | -6.216**<br>(2.814) | -6.240**<br>(2.785) |
| Constante                      | 553.355***<br>(37.586) | 614.569***<br>(47.376) | 96.380***<br>(6.655) | 84.564***<br>(14.559) | 0.032***<br>(0.003)  | 0.036***<br>(0.006)  | 0.161***<br>(0.010)  | 0.203***<br>(0.013)  | 40.706***<br>(12.858) | 61.704***<br>(17.039) | -2.505<br>(5.587)   | -3.515<br>(10.297)  |
| Dummies por zafra              | sí                     | sí                     | sí                   | sí                    | sí                   | sí                   | sí                   | sí                   | sí                    | sí                    | sí                  | sí                  |
| Dummies por estado             | sí                     | sí                     | sí                   | sí                    | sí                   | sí                   | sí                   | sí                   | sí                    | sí                    | sí                  | sí                  |
| N                              | 506                    | 506                    | 482                  | 482                   | 496                  | 496                  | 501                  | 501                  | 524                   | 524                   | 356                 | 356                 |
| R <sup>2</sup>                 | 0.364                  | 0.373                  | 0.3                  | 0.308                 | 0.444                | 0.447                | 0.717                | 0.75                 | 0.776                 | 0.786                 | 0.751               | 0.751               |
| Tamaño crítico de las parcelas | -                      | 6.7                    | -                    | 5.3                   | -                    | 15                   | -                    | 12                   | -                     | 6.2                   | -                   | 39.9                |

Los errores estándar ajustados por heteroscedasticidad y agrupados por municipio se muestran en paréntesis. La Tabla 3 presenta la definición de cada variable. Los asteriscos denotan significancia estadística a niveles del \*10%, \*\*5% y \*\*\*1%.

Tabla 7. Número de abastecedores cañeros y calidad de la caña

|  |  | Variable dependiente: Contenido de sacarosa |                             |                            |                            |                            |
|--|--|---|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <b>Panel A</b>   |  | (A1)  | (A2)                        | (A3)                       | (A4)                       | (A5)                       |
| Abastecedores cañeros  |  | 0.0002**<br>(0.0001)                        | 0.0001*<br>(0.0001)         | 0.0001<br>(0.0001)         | 0.0001<br>(0.0001)         | 1.69E-06<br>(4.34E-05)     |
| Constante  |  | 12.889***<br>(0.331)                        | 14.181***<br>(0.168)        | 14.176***<br>(0.429)       | 13.412***<br>(0.893)       | 13.939***<br>(0.798)       |
| R <sup>2</sup>   |  | 0.094                                       | 0.54                        | 0.592                      | 0.595                      | 0.651                      |
| H <sub>0</sub> : β <sub>1</sub> <0                                 |  | 0.014                                       | 0.028                       | 0.054                      | 0.126                      | 0.485                      |
| <b>Panel B</b>   |  | (B1)  | (B2)                        | (B3)                       | (B4)                       | (B5)                       |
| Abastecedores cañeros  |  | 0.0053***<br>(0.0008)                       | 0.0034***<br>(0.0011)       | 0.0037***<br>(0.0009)      | 0.0042***<br>(0.0011)      | 0.0040***<br>(0.0010)      |
| Abastecedores cañeros <sup>2</sup>                                 |  | -2.07E-06***<br>(3.84E-07)                  | -1.36E-06***<br>(4.63E-07)  | -1.49E-06***<br>(3.89E-07) | -1.67E-06***<br>(4.40E-07) | -1.42E-06***<br>(3.70E-07) |
| Abastecedores cañeros <sup>3</sup>                                 |  | 3.38E-10***<br>(6.89E-11)                   | 2.33E-10***<br>(7.82E-11)   | 2.51E-10***<br>(6.63E-11)  | 2.68E-10***<br>(7.34E-11)  | 2.02E-10***<br>(5.52E-11)  |
| Abastecedores cañeros <sup>4</sup>                                 |  | -1.91E-14***<br>(4.05E-15)                  | -1.36E-14***<br>(4.41E-15)  | -1.45E-14***<br>(3.76E-15) | -1.49E-14***<br>(4.14E-15) | -1.01E-14***<br>(2.83E-15) |
| Constante  |  | 8.821***<br>(0.556)                         | 11.65***<br>(0.822)         | 11.353***<br>(0.773)       | 11.24***<br>(1.531)        | 11.719***<br>(1.416)       |
| R <sup>2</sup>   |  | 0.238                                       | 0.588                       | 0.645                      | 0.651                      | 0.71                       |
| H <sub>0</sub> : β <sub>2</sub> =β <sub>3</sub> =β <sub>4</sub> =0 |  |   |                             |                            |                            |                            |
| Cociente de verosimilitud  |  | <0.01                                       | <0.01                       | <0.01                      | <0.01                      | <0.01                      |
| Wald ajustada por heteroscedasticidad                              |  | <0.01                                       | <0.01                       | <0.01                      | <0.01                      | <0.01                      |
| Números críticos de abastecedores cañeros<br>(max; mín; max) =     |  | (2,695; 3,776; 6,801)                       | (-; -, 6,892) <sup>1/</sup> | (2,533; 3,679; 6,771)      | (2,472; 4,266; 6,752)      | (2,690; 5,317; 6,993)      |
| <b>Panel C</b>   |  |   |                             |                            |                            |                            |
| N  |  | 541   | 541                         | 541                        | 434                        | 327                        |
| Controles  |  |   |                             |                            |                            |                            |
| Dummies por zafra  |  | no  | sí                          | sí                         | sí                         | sí                         |
| Dummies por estado   |  | no  | sí                          | sí                         | sí                         | sí                         |
| Administración, precipitación y caña                               |  | no  | no                          | sí                         | sí                         | sí                         |
| Riego, fertilizantes, alzado<br>mecánico, vehículos y cortadores   |  | no  | no                          | no                         | sí                         | sí                         |
| Cosecha mecánica   |  | no  | no                          | no                         | no                         | sí                         |

Los errores estándar ajustados por heteroscedasticidad y agrupados por municipio se muestran en paréntesis. La Tabla 3 presenta la definición de cada variable. Los asteriscos denotan significancia estadística a niveles del \*10%, \*\*5% y \*\*\*1%. <sup>1/</sup>Bajo esta especificación existe sólo un máximo global ubicado cuando el número de abastecedores cañeros asciende a 6,892.

**Tabla 8. Eficiencia de fábrica**

|                             | Variable dependiente: Eficiencia de fábrica |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
|-----------------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                             | (1)   | (2)                  | (3)                  | (4)                  | (5)                  | (6)                  | (7)                  | (8)                  | (9)                  | (10)                 | (11)                 |
| Administración ingenio      | 0.979<br>(0.680)                            |                      |                      | 0.844<br>(0.626)     | -0.263<br>(0.534)    |                      |                      | -0.368<br>(0.510)    | 0.118<br>(0.481)     | -0.266<br>(0.513)    | 0.135<br>(0.490)     |
| Generación electricidad     |   | -0.193**<br>(0.090)  |                      | -0.194**<br>(0.087)  |                      | -0.159***<br>(0.050) |                      | -0.162***<br>(0.049) | -0.102**<br>(0.042)  | 1.948***<br>(0.380)  | 1.747***<br>(0.552)  |
| Producción alcohol          |   |                      | 0.063<br>(0.127)     | 0.091<br>(0.103)     |                      |                      | 0.031<br>(0.079)     | 0.05<br>(0.073)      | 0.044<br>(0.059)     | 0.063<br>(0.076)     | 0.052<br>(0.058)     |
| Tiempo perdido fábrica      |   |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      | -0.196***<br>(0.024) |                      | -0.191***<br>(0.025) |
| Tiempo perdido personal     |   |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      | -0.067<br>(0.043)    |                      | -0.06<br>(0.044)     |
| Tiempo perdido festividades |   |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      | -0.273**<br>(0.106)  |                      | -0.238**<br>(0.103)  |
| Tiempo perdido campo        |   |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      | -0.065**<br>(0.028)  |                      | -0.060**<br>(0.029)  |
| Tiempo perdido lluvia       |   |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      | -0.078***<br>(0.024) |                      | -0.082***<br>(0.023) |
| Consumo electricidad        |   |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      | -2.088***<br>(0.378) | -1.836***<br>(0.558) |
| Consumo petróleo            |   |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      | -0.066**<br>(0.031)  | -0.031<br>(0.027)    |
| Consumo vapor               |   |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      | -0.067***<br>(0.017) | -0.091***<br>(0.017) |
| Constante                   | 81.610***<br>(0.572)                        | 85.586***<br>(1.508) | 82.215***<br>(0.341) | 84.988***<br>(1.372) | 82.106***<br>(0.427) | 84.732***<br>(0.830) | 81.933***<br>(0.262) | 84.910***<br>(0.832) | 86.811***<br>(0.765) | 85.312***<br>(0.859) | 86.872***<br>(0.783) |
| Efecto fijo de la zafra     | no  | no                   | no                   | no                   | sí                   | sí                   | sí                   | sí                   | sí                   | sí                   | sí                   |
| Efecto fijo del ingenio     | no  | no                   | no                   | no                   | sí                   | sí                   | sí                   | sí                   | sí                   | sí                   | sí                   |
| N                           | 594   | 594                  | 594                  | 594                  | 594                  | 594                  | 594                  | 594                  | 594                  | 594                  | 594                  |
| R <sup>2</sup> (within)     | 0.023                                       | 0.093                | 0.002                | 0.116                | 0.043                | 0.097                | 0.042                | 0.100                | 0.247                | 0.124                | 0.256                |

Los errores estándar ajustados por heteroscedasticidad y agrupados por ingenio se muestran en paréntesis. La Tabla 3 presenta la definición de cada variable. Los asteriscos denotan significancia estadística a niveles del \*10%, \*\*5% y \*\*\*1%.

Tabla A3.1. Cantidad y calidad de la caña de azúcar

|   | Variable dependiente  |                      |                      |                      |                           |                     |                     |                     |
|---|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|   | Contenido de sacarosa |                      |                      |                      | ln(Contenido de sacarosa) |                     |                     |                     |
|   | (1)                   | (2)                  | (3)                  | (4)                  | (5)                       | (6)                 | (7)                 | (8)                 |
| Caña  | 0.013***<br>(0.003)   | 0.013***<br>(0.003)  | 0.012***<br>(0.004)  | 0.014**<br>(0.006)   |                           |                     |                     |                     |
| ln(Caña)  |                       |                      |                      |                      | 0.061***<br>(0.016)       | 0.061***<br>(0.016) | 0.045**<br>(0.020)  | 0.049*<br>(0.027)   |
| Constante   | 12.285***<br>(0.268)  | 12.290***<br>(0.316) | 13.552***<br>(0.771) | 13.939***<br>(1.086) | 2.324***<br>(0.072)       | 2.323***<br>(0.074) | 2.450***<br>(0.106) | 2.508***<br>(0.145) |
| Controles   |                       |                      |                      |                      |                           |                     |                     |                     |
| Efecto fijo del ingenio   | sí                    | sí                   | sí                   | sí                   | sí                        | sí                  | sí                  | sí                  |
| Efecto fijo de la zafra   | sí                    | sí                   | sí                   | sí                   | sí                        | sí                  | sí                  | sí                  |
| Administración y precipitación  | no                    | sí                   | sí                   | sí                   | no                        | sí                  | sí                  | sí                  |
| Riego, fertilizantes, alzado mecánico, vehículos y cortadores   | no                    | no                   | sí                   | sí                   | no                        | no                  | sí                  | sí                  |
| Cosecha mecánica  | no                    | no                   | no                   | sí                   | no                        | no                  | no                  | sí                  |
| R <sup>2</sup> (within)   | 0.248                 | 0.248                | 0.312                | 0.32                 | 0.236                     | 0.236               | 0.301               | 0.306               |
| N   | 594                   | 594                  | 462                  | 343                  | 594                       | 594                 | 462                 | 343                 |
| Número de ingenios  | 54                    | 54                   | 54                   | 45                   | 54                        | 54                  | 54                  | 45                  |
| Aumento del contenido de sacarosa en caña asociado a un incremento de 10% en el volumen de caña obtenida por hectárea = |                       |                      |                      |                      | 0.58%                     | 0.58%               | 0.43%               | 0.47%               |

Los errores estándar ajustados por heteroscedasticidad y agrupados a nivel de ingenio se muestran en paréntesis. La Tabla 3 presenta la definición de cada variable. Los asteriscos denotan significancia estadística a niveles del \*10%, \*\*5% y \*\*\*1%.

Tabla A4.1. Pruebas de robustez aplicadas a la ecuación (1)

|   | Variable dependiente: Producción de sacarosa por hectárea |                      |                      |                      |                      |                    |                     |                    |                    |                   |                     |                   |                   |
|---|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Panel A: Resultados base</b>   | (1)   | (2)                  | (3)                  | (4)                  | (5)                  | (6)                | (7)                 | (8)                | (9)                | (10)              | (11)                | (12)              | (13)              |
| Tamaño parcela  | -1.691***<br>(0.372)                                      | -1.699***<br>(0.368) | -0.733**<br>(0.306)  | -0.708**<br>(0.278)  | -0.769***<br>(0.258) | -0.701*<br>(0.385) | -0.415<br>(0.252)   | -0.549<br>(0.436)  | -0.088<br>(0.362)  | 0.102<br>(0.366)  | -0.781**<br>(0.318) | 0.239<br>(0.240)  | 0.166<br>(0.278)  |
| Tamaño parcela <sup>2</sup>   | 0.102***<br>(0.029)                                       | 0.103***<br>(0.029)  | 0.045**<br>(0.021)   | 0.041**<br>(0.019)   | 0.044**<br>(0.018)   | 0.045<br>(0.027)   | 0.018<br>(0.016)    | 0.028<br>(0.026)   | -0.003<br>(0.026)  | -0.017<br>(0.025) | 0.051**<br>(0.022)  | -0.018<br>(0.018) | -0.011<br>(0.020) |
| Tamaño crítico de las parcelas  | 8.3   | 8.2                  | 8.1                  | 8.6                  | 8.7                  | 7.8                | irrelevante         | irrelevante        | irrelevante        | irrelevante       | 7.7                 | irrelevante       | irrelevante       |
| <b>Panel B: Pruebas sobre la especificación cuadrática</b>                            |   |                      |                      |                      |                      |                    |                     |                    |                    |                   |                     |                   |                   |
| Tamaño parcela  | -0.560***<br>(0.139)                                      | -0.562***<br>(0.141) | -0.17<br>(0.111)     | -0.190*<br>(0.095)   | -0.211**<br>(0.086)  | -0.136<br>(0.108)  | -0.187**<br>(0.079) | -0.153<br>(0.125)  | -0.126*<br>(0.068) | -0.13<br>(0.087)  | -0.14<br>(0.124)    | 0.002<br>(0.076)  | 0.015<br>(0.080)  |
| H <sub>0</sub> : β <sub>2</sub> =0  | <0.01   | <0.01                | 0.036                | 0.035                | 0.018                | 0.102              | 0.273               | 0.281              | 0.910              | 0.496             | 0.026               | 0.314             | 0.58              |
| H <sub>0</sub> : β <sub>1</sub> =β <sub>2</sub> =0                                    | <0.01   | <0.01                | 0.055                | 0.018                | <0.01                | 0.172              | 0.038               | 0.349              | 0.134              | 0.186             | 0.058               | 0.596             | 0.837             |
| <b>Panel C: Resultados excluyendo el ingenio La Primavera (PRI)</b>                   |   |                      |                      |                      |                      |                    |                     |                    |                    |                   |                     |                   |                   |
| Tamaño parcela  | -2.035***<br>(0.403)                                      | -2.025***<br>(0.404) | -1.000***<br>(0.329) | -0.934***<br>(0.306) | -0.935***<br>(0.298) | -0.735*<br>(0.408) | -0.428<br>(0.338)   | -0.941*<br>(0.516) | -0.078<br>(0.371)  | 0.164<br>(0.369)  | -0.993**<br>(0.377) | 0.237<br>(0.237)  | 0.173<br>(0.273)  |
| Tamaño parcela <sup>2</sup>   | 0.137***<br>(0.032)                                       | 0.135***<br>(0.032)  | 0.068***<br>(0.023)  | 0.061***<br>(0.022)  | 0.060***<br>(0.021)  | 0.047<br>(0.028)   | 0.017<br>(0.025)    | 0.057<br>(0.034)   | -0.003<br>(0.027)  | -0.021<br>(0.025) | 0.072**<br>(0.027)  | -0.018<br>(0.018) | -0.012<br>(0.020) |
| Tamaño crítico de las parcelas  | 7.4   | 7.5                  | 7.4                  | 7.7                  | 7.8                  | 7.8                | irrelevante         | 8.3                | irrelevante        | irrelevante       | 6.9                 | irrelevante       | irrelevante       |
| <b>Panel D: Resultados excluyendo los ingenios La Primavera (PRI) y El Higo (HIG)</b> |   |                      |                      |                      |                      |                    |                     |                    |                    |                   |                     |                   |                   |
| Tamaño parcela  | -2.140***<br>(0.501)                                      | -2.126***<br>(0.505) | -0.958**<br>(0.367)  | -0.906**<br>(0.362)  | -0.976***<br>(0.354) | -0.686<br>(0.475)  | -0.585<br>(0.401)   | -1.048<br>(0.629)  | -0.287<br>(0.451)  | -0.125<br>(0.478) | -0.996**<br>(0.473) | 0.238<br>(0.325)  | 0.091<br>(0.402)  |
| Tamaño parcela <sup>2</sup>   | 0.148***<br>(0.044)                                       | 0.146***<br>(0.045)  | 0.061**<br>(0.030)   | 0.056*<br>(0.031)    | 0.065**<br>(0.029)   | 0.04<br>(0.038)    | 0.038<br>(0.034)    | 0.067<br>(0.049)   | 0.021<br>(0.035)   | 0.01<br>(0.037)   | 0.072*<br>(0.040)   | -0.018<br>(0.028) | -0.005<br>(0.035) |
| Tamaño crítico de las parcelas  | 7.2   | 7.3                  | 7.9                  | 8.1                  | 7.5                  | irrelevante        | irrelevante         | irrelevante        | irrelevante        | irrelevante       | 6.9                 | irrelevante       | irrelevante       |

Tabla A4.1 (continuación)

| <b>Panel E: Resultados ponderados por la producción de caña</b>   |                      |                      |                     |                      |                      |                   |                   |                    |                   |                   |                      |                   |                   |
|---|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
|   | (1)                  | (2)                  | (3)                 | (4)                  | (5)                  | (6)               | (7)               | (8)                | (9)               | (10)              | (11)                 | (12)              | (13)              |
| Tamaño parcela  | -2.181***<br>(0.470) | -2.181***<br>(0.473) | -0.928**<br>(0.371) | -0.916***<br>(0.341) | -0.932***<br>(0.315) | -0.641<br>(0.416) | -0.327<br>(0.245) | -0.844<br>(0.510)  | 0.002<br>(0.298)  | 0.152<br>(0.288)  | -1.153***<br>(0.413) | 0.205<br>(0.241)  | 0.157<br>(0.264)  |
| Tamaño parcela <sup>2</sup>                                       | 0.137***<br>(0.035)  | 0.137***<br>(0.036)  | 0.060**<br>(0.025)  | 0.056**<br>(0.023)   | 0.056**<br>(0.021)   | 0.043<br>(0.028)  | 0.011<br>(0.018)  | 0.047<br>(0.032)   | -0.009<br>(0.022) | -0.019<br>(0.020) | 0.075**<br>(0.029)   | -0.015<br>(0.018) | -0.011<br>(0.018) |
| Tamaño crítico de las parcelas                                    | 8.0                  | 8.0                  | 7.7                 | 8.2                  | 8.3                  | irrelevante       | irrelevante       | irrelevante        | irrelevante       | irrelevante       | 7.7                  | irrelevante       | irrelevante       |
| <b>Panel F: Resultados ponderados por la producción de azúcar</b> |                      |                      |                     |                      |                      |                   |                   |                    |                   |                   |                      |                   |                   |
| Tamaño parcela  | -2.260***<br>(0.479) | -2.257***<br>(0.483) | -0.934**<br>(0.380) | -0.920**<br>(0.349)  | -0.930***<br>(0.324) | -0.622<br>(0.423) | -0.313<br>(0.253) | -0.868*<br>(0.515) | 0.008<br>(0.301)  | 0.151<br>(0.297)  | -1.217***<br>(0.426) | 0.182<br>(0.245)  | 0.132<br>(0.265)  |
| Tamaño parcela <sup>2</sup>                                       | 0.143***<br>(0.036)  | 0.142***<br>(0.036)  | 0.061**<br>(0.026)  | 0.057**<br>(0.024)   | 0.056**<br>(0.022)   | 0.042<br>(0.028)  | 0.01<br>(0.018)   | 0.049<br>(0.032)   | -0.009<br>(0.022) | -0.019<br>(0.021) | 0.079**<br>(0.030)   | -0.013<br>(0.018) | -0.009<br>(0.019) |
| Tamaño crítico de las parcelas                                    | 7.9                  | 7.9                  | 7.7                 | 8.1                  | 8.3                  | irrelevante       | irrelevante       | 8.9                | irrelevante       | irrelevante       | 7.7                  | irrelevante       | irrelevante       |
| <b>Panel G: Controles</b>   |                      |                      |                     |                      |                      |                   |                   |                    |                   |                   |                      |                   |                   |
| Constante   | sí                   | sí                   | sí                  | sí                   | sí                   | sí                | sí                | sí                 | sí                | sí                | sí                   | sí                | sí                |
| Dummies por zafra   | no                   | sí                   | sí                  | sí                   | sí                   | sí                | sí                | sí                 | sí                | sí                | sí                   | sí                | sí                |
| Dummies por estado  | no                   | no                   | sí                  | sí                   | sí                   | sí                | sí                | sí                 | sí                | sí                | no                   | no                | no                |
| Precipitación, Admón. ingenio                                     | no                   | no                   | no                  | sí                   | sí                   | sí                | sí                | sí                 | sí                | sí                | sí                   | sí                | sí                |
| Fertilizante (lineal y cuadrático)                                | no                   | no                   | no                  | no                   | sí                   | no                | no                | no                 | sí                | sí                | sí                   | sí                | sí                |
| Alzado mecánico, vehículos y cortadores                           | no                   | no                   | no                  | no                   | no                   | sí                | no                | no                 | sí                | sí                | no                   | sí                | sí                |
| Riego   | no                   | no                   | no                  | no                   | no                   | no                | sí                | no                 | sí                | sí                | no                   | sí                | sí                |
| Cosecha mecánica  | no                   | no                   | no                  | no                   | no                   | no                | no                | sí                 | no                | sí                | no                   | no                | sí                |
| Altitud   | no                   | no                   | no                  | no                   | no                   | no                | no                | no                 | no                | no                | sí                   | sí                | sí                |

Los errores estándar ajustados por heteroscedasticidad y agrupados por municipio se muestran en paréntesis. La Tabla 3 presenta la definición de cada variable. Los asteriscos denotan significancia estadística a niveles del \*10%, \*\*5% y \*\*\*1%.