

EXTENSIÓN DE LOS PREDIOS AGRÍCOLAS Y PRODUCTIVIDAD

El caso del campo cañero en México*

*Francisco Campos Ortiz
y Mariana Oviedo Pacheco***

RESUMEN

En este artículo estudiamos la relación entre la extensión de las unidades de producción de caña de azúcar en México y sus rendimientos. Mostramos, teórica y empíricamente, una asociación en forma de U entre estas variables. Presentamos evidencia que sugiere que dicha relación está determinada por el uso más intensivo de insumos en los predios de menor y mayor superficie relativos a los de tamaño medio: los de

* *Palabras clave:* caña de azúcar, extensión de las parcelas cañeras, rendimiento en campo, México. *Clasificación JEL:* D23, D24, L66, Q1. Artículo recibido el 6 de agosto de 2013 y aceptado el 26 de febrero de 2014. Los autores agradecen los comentarios, orientación y puntos de vista expresados durante las conversaciones que sostuvieron con miembros y representantes de los sectores cañero e industrial, comercializadores y autoridades gubernamentales. Este artículo se ha beneficiado de las valiosas sugerencias de Marcelo Delajara, Santiago Guerrero, Raúl Ibarra, Miriam Juárez, José Antonio Murillo, Salvador Rodríguez, Rainer Schwabe, Eduardo Torres-Torija, Daniel Vaughan y dos dictaminadores anónimos de EL TRIMESTRE ECONÓMICO, así como de 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. Este artículo se deriva de un estudio más extenso sobre la industria azucarera en México (Campos Ortiz y Oviedo Pacheco, 2013) y fue escrito durante el periodo en que Campos Ortiz estuvo adscrito a la Dirección General de Investigación Económica del Banco de México. El contenido de esta investigación, así como las conclusiones que de ella se deriven, son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones o políticas del Banco de México o de Prudential Fixed Income.

** F. Campos Ortiz, Global Macroeconomic Research, prudential Fixed Income (correo electrónico: francisco.camposortiz@prudential.com). M. Oviedo Pacheco, Dirección General de Investigación Económica, Banco de México (correo electrónico: mariana_oviedo@banxico.org.mx).

aproximadamente ocho hectáreas. Estos resultados contribuyen al debate sobre la relación entre el tamaño de las unidades de producción agrícola y su productividad; en el caso del campo mexicano, esta literatura es prácticamente inexistente.

ABSTRACT

In this paper, we study the relationship between the size of sugarcane cultivation plots in Mexico and their yield. We show, theoretically and empirically, a U-shaped association between these variables. We present 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 —those of about eight hectares. These results contribute to the debate regarding the relationship between the size of agricultural production units and their productivity; in the case of Mexican farms, this literature is practically nonexistent.

INTRODUCCIÓN

Durante varias décadas, la alta fragmentación/atomización de la tierra (es decir, la alta prevalencia de pequeñas unidades de producción agrícola, o minifundios) 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, 2007).¹ Su relevancia radica en la influencia que, *inter alia*, ejerce la estructura minifundista en el desarrollo rural. Por ejemplo, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Sagarpa (2007, p. 14) se ha referido a la atomización de la tierra como una limitante a la productividad del campo mexicano, haciendo también notar que la producción de los

¹ El origen de la estructura minifundista en México se remonta a la guerra civil —la Revolución mexicana— de principios del siglo XX, cuyas diferentes facciones tuvieron una de sus principales plataformas programáticas en la fragmentación de los latifundios (véase el punto 3° del Plan de San Luis y los puntos 6° y 7° del Plan de Ayala). Dicho principio fue luego integrado en el artículo 27 de la Constitución promulgada en 1917 que, en su versión original, estableció que “La Nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, [...], para hacer una distribución equitativa de la riqueza pública [...]. Con este objeto se dictarán las medidas necesarias para el fraccionamiento de los latifundios; para el desarrollo de la pequeña propiedad; para la creación de nuevos centros de población agrícola con las tierras y aguas que les sean indispensables [...]”. Así, el reparto agrario que derivó en la creación de la estructura minifundista, fundamentalmente bajo el esquema de propiedad comunal (ejido), pasó a ser política de Estado del régimen emanado del movimiento revolucionario, con una vigencia que perduró hasta inicios de la década de 1990, periodo durante el cual México implementó una serie de reformas de liberalización económica y política.

minifundios se destina en su mayor parte al autoconsumo.² Pérez Zamorano (2007) ofrece un diagnóstico similar en el contexto particular del campo cañero con base en su estudio de caso del valle de Matamoros, ubicado en el estado de Puebla, y donde se localiza el ingenio Atencingo.

El presente artículo se enfoca en la caña de azúcar, el segundo producto agrícola de mayor valor en México (sólo detrás del maíz en grano).³ Estudiamos la relación entre la extensión de las parcelas cañeras (medida por el tamaño promedio de los lotes cañeros que abastecen a cada ingenio) y su productividad (medida por el volumen de sacarosa obtenido por hectárea).⁴ 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 (p. ej., fertilizante, sistemas de irrigación) en los predios de menor y mayor superficie comparados con las parcelas de tamaño medio —aquellas con una superficie de aproximadamente 8 hectáreas—. Mostramos teóricamente que, en el caso de las parcelas grandes, su capacidad de generar economías de escala se traduce en una productividad relativamente alta. Por su parte, los cañeros con predios pequeños buscan asociarse a fin de consolidar sus parcelas y así generar economías de escala que redundan en una productividad relativamente elevada.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera. En la siguiente sección discutimos nuestra aportación a la literatura existente. En la sección II describimos los datos que se utilizaron en esta investigación. La sección III presenta el análisis teórico y empírico de la relación entre el tamaño de los predios cañeros y su productividad. Los resultados empíricos son sometidos a pruebas de robustez en la sección IV, a la cual le sigue la conclusión.

² Como parte del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, el gobierno mexicano propone lograr “una mayor productividad mediante políticas que faciliten un uso social y económicamente óptimo del territorio nacional” para lo cual se impulsarían programas “que otorguen certidumbre jurídica a la tenencia de la tierra” y “reduzcan la fragmentación de los predios agrícolas” (p. 54). En marzo de 2013, el titular en turno de la Sagarpa señaló durante una comparecencia en la Cámara de Diputados que “Hay un problema que tradicionalmente ha seguido lacerando al campo mexicano, que es el problema del minifundio. El 77% de la estructura territorial, de la propiedad territorial está en manos de minifundistas con cinco hectáreas o menos y esta situación hace sumamente complicada la producción. Ahí vemos cómo una persona con cinco hectáreas, solamente el 34% se queda en el campo. Este porcentaje del 49, casi el 50% se va a otras actividades agropecuarias y otras actividades no agropecuarias y el 15.6% emigra porque no tiene manera de subsistir”. (Véase Sagarpa, 2013.)

³ Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

⁴ Con el fin de evitar cacofonías, a lo largo de este trabajo nos habremos de referir indistintamente a las unidades de producción agrícola como lotes, parcelas, predios o tierras. Igualmente, habremos de utilizar indistintamente los términos productividad y rendimiento.

I. LITERATURA RELACIONADA

Nuestra investigación contribuye al extenso debate que durante varios años se ha desarrollado en torno a la relación entre el tamaño de los predios agrícolas y su productividad. Una referencia seminal es Amartya 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, donde hay mayor disponibilidad de mano de obra de familiares. A partir de esa publicación, varios autores han estudiado dicho fenómeno en África, Asia y América Latina. Una rama de esta disciplina ha encontrado evidencia apoyando la hipótesis de que los pequeños agricultores son más productivos, lo cual se justifica por factores 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 nuestra investigación. Primero, el exhaustivo estudio que Pérez Zamorano (2007) realiza de la producción de caña en el valle de Matamoros, Puebla. Una de las tesis 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 literatura prácticamente inexistente sobre la relación entre la extensión de las parcelas y sus rendimientos en el contexto del campo mexicano (lo cual, a su vez, ha ocurrido 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 se complementa 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 (p. ej., red eléctrica, asistencia técnica, canales de comercialización) y tecnologías que coadyuvan a mejorar su productividad. Al igual que 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.

II. 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 México en dicho periodo. La información provista por esta fuente se enfoca en indicadores generales del volumen y características de la producción de caña de azúcar; empero, no proporciona información detallada de los diferentes factores que influyen en la productividad del sector (p. ej., si el cultivo es de riego o de tempo-

CUADRO 1. *Descripción de las variables*

	<i>Unidad</i>	<i>Descripción</i>	<i>Fuente</i>
Administración ingenio	0 = gobierno; 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	Porcentaje	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)
Contenido sacarosa	Porcentaje	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	Porcentaje	Fracción de caña cortada y alzada mecánicamente	UNC-CNPR (2010, 2011)
Fertilizante	Kg/ha	Primera dosis de fertilizante por hectárea	CEMA (2002 a 2012)
Precipitación	Milímetros	Precipitación acumulada durante los 18 meses previos al inicio de cada zafra	Elaboración propia con datos de Conagua
Riego	Porcentaje	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)
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)
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)

ral, o la aplicación de fertilizantes). Este tipo de datos corresponden a una segunda fuente, el *Manual azucarero mexicano*, volúmenes 2002 a 2012, publicado por la Compañía Editora del Manual Azucarero (CEMA). Esta obra contiene un acervo de información exhaustivo sobre las condiciones de producción de caña, 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 sólo están disponibles en medios impresos, y, en su mayoría, presentan los datos en prosa, por lo que fue necesario capturar manualmente la información de cada libro.

Por último, para conocer la precipitación pluvial que se presentó en las estaciones más cercanas a los ingenios se utilizó información proporcionada por la Comisión Nacional del Agua (Conagua). Para ello se utilizó el *software* ArcGIS mediante el cual se identificaron las estaciones cercanas; posteriormente, se obtuvo el total de lluvia registrada en los 18 meses previos al inicio de la zafra, periodo máximo que se considera adecuado para que la caña madure lo suficiente para su cosecha (FAO, 2012; Pérez Zamorano, 2007; Sagarpa, 2010).

El cuadro 1 presenta un listado ordenado alfabéticamente de las variables utilizadas en este estudio acompañadas de su definición y fuente. El cuadro 2 muestra las estadísticas descriptivas de dichas variables durante el periodo completo de estudio (zafra 2000-2001/2010-2011) así como de la zafra 2010-2011 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 11 ciclos incluidos en este estudio.^{5, 6}

Nuestra medida clave de productividad es el volumen de sacarosa producido por hectárea. Este indicador captura tanto la cantidad como la calidad de la caña de azúcar.⁷ El cuadro 2 indica que el sector cañero registró rendimientos de 10 toneladas de sacarosa por hectárea (véase variable “sa-

⁵ La decisión de excluir a los ingenios 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*.

⁶ El número de observaciones difiere entre variables debido a que algunos ingenios no reportan consistentemente sus estadísticas.

⁷ 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 (véase Campos Ortiz y Oviedo Pacheco, 2013).

CUADRO 2. *Estadísticas descriptivas*

		Zafra 2000-2001/2010-2011					Zafra 2010-2011				
	Unidad	N	Prom.	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	N	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Administración ingenio	0 = gobierno; 1 = privado	594	0.7	0.5	0	1	54	0.8	0.4	0	1
Altitud	MSNM	594	481.9	491.0	3	1 359	54	481.9	491.0	3	1 359
Alzado mecánico	Porcentaje	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
Contenido sacarosa	Porcentaje	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	Porcentaje	376	21.7	19.9	0.03	100	42	23.4	23.8	0.04	100
Fertilizante	Kg/ha	553	602.2	137.6	150	1 050	51	585.8	148.5	200	1 000
Precipitación	Milímetros	594	2 498	1 146	282	7 548	54	2 610	1 183	606	6 671
Riego	Porcentaje	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
Tamaño parcela	Hectáreas	541	4.5	2.3	0.8	17.1	54	4.7	2.8	0.8	17.1
Vehículos	Camiones/ha	534	0.02	0.01	0.003	0.13	53	0.0	0.0	0.01	0.05

carosa” en los cuadros 1 y 2) 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 2010-2011, la producción promedio de sacarosa por hectárea descendió 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 por ciento.

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 capta 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 2010-2011 la extensión promedio ascendió a 4.7 hectáreas.

En lo relacionado con el 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 cañeros. En todos estos indicadores, el rango abarcó tanto la utilización prácticamente nula de factores de capital como una penetración de 100%. Segundo, estas medidas presentaron tendencias relativamente constantes a lo largo de los 11 ciclos considerados, por lo que durante la zafra 2010-2011 el uso de capital registró cifras similares al promedio de todo el periodo.

Respecto a la administración de los ingenios azucareros, el cuadro 2 muestra que el proceso de reprivatización de ingenios acaecido a partir de la expropiación de 27 ingenios en septiembre de 2001 no había concluido. Para el ciclo 2010-2011, nueve (20%) de los 54 ingenios en operación eran aún propiedad del gobierno, y administrados por el Fondo de Empresas Expropiadas del Sector Azucarero, FEESA (variable “administración ingenio”).

III. EXTENSIÓN DE LOS PREDIOS CAÑEROS Y PRODUCTIVIDAD

Esta sección se divide en dos partes. Primero, mostramos los resultados empíricos, que son racionalizados a través de un modelo teórico que desarrollamos en la segunda parte.

1. Resultados empíricos

La gráfica 1 ofrece una primera ilustración de la relación en forma de U entre la extensión de las parcelas cañeras y la producción de sacarosa por hectárea alcanzada por los abastecedores de caña durante las zafas 2000-2001 a 2010-2011. Con el fin de dar un sustento más robusto a esta impresión visual, en la gráfica 2 presentamos la regresión no paramétrica de los rendimientos de sacarosa sobre el tamaño de los predios cañeros. 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

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

en la que sacarosa_{ist} representa la producción de sacarosa por hectárea alcanzada por los abastecedores del ingenio i ubicado en el estado s durante el ciclo $t = 2000-2001, \dots, 2010-2011$; 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; φ_t y φ_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 consideradas. Los coeficientes de interés son β_1 y β_2 .^{8,9}

⁸ 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 surge 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).

⁹ La carencia de datos para algunos ingenios en diversas zafas (lo cual se ve reflejado en la dispersidad de N entre las diferentes especificaciones) nos fuerza a imponer el supuesto de que la falta de

El cuadro 3 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 gráficas 1 y 2, e indican que el tamaño crítico de las parcelas a partir del cual se observa que la 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 se comparten (p. ej., marco institucional, geografía, etc.) que pudiesen afectar su productividad. Para captar 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 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. La composición del conjunto de variables de control se definió a partir de tres criterios: *i*) su disponibilidad en formato longitudinal; *ii*) su inclusión en la literatura existente, y *iii*) su relevancia como determinante de la productividad del campo cañero, a juicio de los participantes del sector con quienes mantuvimos comunicación.¹⁰

Primero 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.

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.

¹⁰ La carencia de datos para ciertas variables que plausiblemente inciden sobre la productividad de las parcelas cañeros nos llevó a excluirlas de nuestro análisis. Algunos ejemplos son el acceso de los productores cañeros al crédito, el régimen de propiedad (comunal *vs.* privada) de los predios, la injerencia de las organizaciones cañeras y la calidad de las tierras.

CUADRO 3. *Extensión de los predios*

Variable dependiente: Producción

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Tamaño parcela	-1.691*** (0.372)	-1.699*** (0.368)	-0.733** (0.306)	-0.708** (0.278)	-0.769*** (0.258)	-0.701* (0.385)
Tamaño parcela ²	0.102*** (0.029)	0.103*** (0.029)	0.045** (0.021)	0.041** (0.019)	0.044** (0.018)	0.045 (0.027)
Precipitación				-0.0004** (0.0001)	-0.001*** (0.0002)	-0.001** (0.0002)
Administración ingenio				-0.007 (0.460)	0.228 (0.398)	0.037 (0.474)
Fertilizante					-0.016* (0.008)	
Fertilizante ²					0.000** (0.000)	
Alzado mecánico						-0.013 (0.010)
Vehículos						15.301 (19.839)
Cortadores						-1.065 (7.206)
Riego						
Cosecha mecánica						
Altitud						
Constante	15.010*** (1.090)	15.377*** (1.094)	8.824*** (1.086)	9.661*** (1.069)	14.384*** (3.052)	10.593*** (1.650)
Dummies por zafra	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Dummies por estado	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí
N	541	541	541	541	506	480
R ²	0.318	0.347	0.620	0.635	0.697	0.651
Tamaño crítico de las parcelas	8.3	8.2	8.1	8.6	8.7	7.8

^a Los errores estándar ajustados por heteroscedasticidad y agrupados por municipio se muestran entre paréntesis.
 * 10%, ** 5% y *** 1 por ciento.

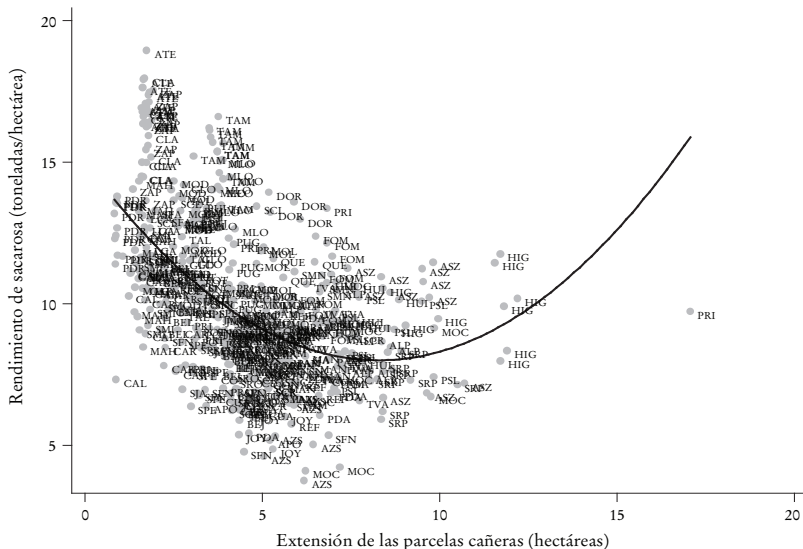
cañeros y rendimientos de sacarosa^a

de sacarosa por hectárea

(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
-0.415	-0.549	-0.088	0.102	-0.781**	0.239	0.166
(0.252)	(0.436)	(0.362)	(0.366)	(0.318)	(0.240)	(0.278)
0.018	0.028	-0.003	-0.017	0.051**	-0.018	-0.011
(0.016)	(0.026)	(0.026)	(0.025)	(0.022)	(0.018)	(0.020)
0.0003*	-0.001**	0.001***	0.0001	-0.003	0.001***	0.0004**
(0.0002)	(0.0003)	(0.0001)	(0.0002)	(0.0002)	(0.0002)	(0.0002)
-0.204	0.658	0.223	0.529	-0.23	-0.789**	-0.758*
(0.377)	(0.585)	(0.299)	(0.371)	(0.411)	(0.360)	(0.426)
		-0.008	-0.003	-0.027***	-0.013*	-0.01
		(0.008)	(0.008)	(0.006)	(0.007)	(0.007)
		0.000	0.000	0.000***	0.000**	0.000**
		(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
		-0.015*	-0.018		0.005	0.001
		(0.008)	(0.014)		(0.009)	(0.016)
		20.807	13.093		8.136	5.62
		(13.086)	(14.007)		(14.474)	(13.484)
		4.154	7.595		6.854	15.253**
		(3.801)	(6.404)		(4.990)	(6.092)
0.039***		0.037***	0.038***		0.042***	0.041***
(0.006)		(0.006)	(0.006)		(0.006)	(0.006)
	0.035*		0.018			0.014
	(0.020)		(0.013)			(0.019)
				0.002***	0.002***	0.003***
				(0.001)	(0.0005)	(0.001)
7.231***	8.962***	8.844**	6.819*	19.810***	7.267**	6.052
(1.026)	(1.853)	(3.385)	(3.630)	(2.156)	(3.024)	(3.732)
Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No
524	356	434	327	506	434	327
0.711	0.710	0.782	0.812	0.573	0.725	0.755

Irrelevante Irrelevante Irrelevante Irrelevante 7.7 Irrelevante Irrelevante

El cuadro 1 presenta la definición de cada variable. Los asteriscos denotan significancia estadística a niveles del

GRÁFICA 1. *Tamaño de las parcelas cañeras y rendimiento de sacarosa**

* Las abreviaturas corresponden a los siguientes ingenios: ALP-Adolfo López Mateos; APO-Alian-za 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 Mo-chis; 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-Pujiltil; 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.

A continuación incluimos controles relacionados a la utilización de in-sumos. 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.^{11, 12} En la siguiente especifica-ción incluimos controles relacionados al alzado mecánico de la caña, el nú-

¹¹ La inclusión del término cuadrático de la variable de fertilizantes es resultado de pruebas que indican que dicha inclusión es una mejora estadísticamente significativa sobre los modelos que sólo incluyen el término lineal.

¹² Otros estudios que controlan por la utilización de fertilizantes son Ahmad y Khan Qureshi (1999), Bardhan (1973), Helfand y Levine (2004) y Thapa (2007).

GRÁFICA 2. *Regresión no paramétrica del rendimiento de sacarosa sobre el tamaño de las parcelas cañeras**



* Kernel = Epanechnikov: Ancho de banda = 2.3.

mero de vehículos que transportan la caña del campo al ingenio, y el número de cortadores.¹³ 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.¹⁴ 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.¹⁵ Nuestras estimaciones sugieren que un incremento de 10 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 aproximada-

¹³ El factor mano de obra y sus características (p. ej., educación) son variables de control consideradas por Chen *et al.* (2011), Cornia (1985), Fan y Chan-Kang (2005), Helfand y Levine (2004) y Heltberg (1998).

¹⁴ Este resultado sólo se obtiene 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.)

¹⁵ Ahmad y Khan Qureshi (1999), Bardhan (1973), Bhalla y Roy (1988), Helfand y Levine (2004) y Thapa (2007) incluyen controles referentes a la utilización de sistemas de irrigación, en tanto que Helfand y Levine (2004) hacen lo propio para la mecanización del trabajo agrícola.

mente 4% relativo al promedio. 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 captando 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 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% respecto al promedio.

Los resultados del cuadro 3 también apuntan en su conjunto a que el tipo de propiedad de los ingenios no incide significativamente en la productividad del campo.¹⁶ 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.¹⁷ 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.¹⁸

¿Cómo se pueden interpretar 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

¹⁶ 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.

¹⁷ 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 se incluye el riego. Ello sugiere que, en zonas que reciben menos precipitación, es 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.

¹⁸ 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 demande o las aplicaciones subsecuentes; nuestra medida tampoco captura si el fertilizante es aplicado correctamente.

ambiente más conducente al uso de insumos que inciden directamente en los rendimientos de sacarosa. El hecho de que la relación entre el tamaño de los predios y los rendimientos de sacarosa se vuelva redundante una vez que incluimos controles sobre la utilización de insumos indica que el mecanismo de dicha relación opera a 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 asociación 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.

El cuadro 4 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; es decir, 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 podría 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.¹⁹

¹⁹ Bajo un supuesto de monotonidad (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.

CUADRO 4. *Extensión de los predios cañeros y utilización de insumos*^a

	Variable dependiente					
	Fertilizante		Alzado mecánico		Vehículos	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Tamaño parcela	-1.3 (5.532)	-23.106* (11.556)	-0.482 (1.170)	3.771 (4.600)	-0.002*** (0.000)	-0.003* (0.002)
Tamaño parcela ²		1.730** (0.809)		-0.358 (0.317)		0.0001 (0.0001)
Precipitación	-0.003 (0.008)	-0.002 (0.008)	-0.003* (0.002)	-0.004* (0.002)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
Administración ingenio	-20.424 (19.026)	-18.078 (18.772)	1.498 (4.965)	1.305 (4.840)	-0.008*** (0.002)	-0.008*** (0.002)
Constante	553.355*** (37.586)	614.569*** (47.376)	96.380*** (6.655)	84.564*** (14.559)	0.032*** (0.003)	0.036*** (0.006)
Dummies por zafra	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Dummies por estado	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
N	506	506	482	482	496	496
R ²	0.364	0.373	0.3	0.308	0.444	0.447
Tamaño crítico de las parcelas	—	6.7	—	5.3	—	15
	Cortadores		Riego		Cosecha mecánica	
	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Tamaño parcela	-1.3 (5.532)	-23.106* (11.556)	-0.482 (1.170)	3.771 (4.600)	-0.002*** (0.000)	-0.003* (0.002)
Tamaño parcela ²		1.730** (0.809)		-0.358 (0.317)		0.0001 (0.0001)
Precipitación	-0.003 (0.008)	-0.002 (0.008)	-0.003* (0.002)	-0.004* (0.002)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
Administración ingenio	-20.424 (19.026)	-18.078 (18.772)	1.48 (4.965)	1.305 (4.840)	-0.008*** (0.002)	-0.008*** (0.002)
Constante	553.355*** (37.586)	614.569*** (47.376)	96.380*** (6.655)	84.564*** (14.559)	0.032*** (0.003)	0.036*** (0.006)
Dummies por zafra	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Dummies por estado	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
N	506	506	482	482	496	496
R ²	0.364	0.373	0.3	0.308	0.444	0.447
Tamaño crítico de las parcelas	—	6.7	—	5.3	—	15

^a Los errores estándar ajustados por heteroscedasticidad y agrupados por municipio se muestran entre paréntesis. El cuadro 1 presenta la definición de cada variable. Los asteriscos denotan significancia estadística a niveles del * 10%, ** 5% y *** 1 por ciento.

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 contratar por un monto proporcional a la superficie de la parcela, lo cual impide el aprovechamiento de las economías de escala que generan parcelas de mayor tamaño.

Por otra parte, la escala de las parcelas aparece negativamente relacionada con el número de vehículos de transporte disponibles por hectárea (columnas 5 y 6). 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 será 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 por parcela de 12 hectáreas. El hecho de que tal 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 podría considerarse como consistente con los estudios que argumentan que los pequeños agricultores tienden a usar el factor trabajo más intensivamente (véase *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 supone 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 relegado 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.²⁰ 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 (los cuadros están disponibles a petición del lector).²¹

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 a 7% del promedio.²² 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 ($\chi^2_1 = 0.1, p = 0.75$) 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 de que la especificación lineal es suficiente.

Estos resultados complementan el argumento derivado del cuadro 3: 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, la evidencia presentada en el cuadro 4 sugiere en su conjunto que las parcelas de menor y mayor tamaño utilizan más intensivamente factores de la producción comparados con las parcelas de tamaño medio (aquéllas con una superficie cercana a ocho hectáreas), lo cual repercute en que las parcelas pequeñas y grandes presenten

²⁰ Ello puede derivar si por ejemplo los gobiernos estatales cuentan con políticas (p. ej., 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.

²¹ 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.

²² Pérez Zamorano (2007) señala tres razones por las que una estructura minifundista inhibe una mayor mecanización del campo. Primero, el costo es prohibitivo en relación con 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 sustituyan el trabajo manual realizado por jornaleros (incluidos familiares, en algunos casos).

mayores rendimientos con respecto a 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.

2. *Discusión teórica*

En esta subsección, desarrollamos un modelo cuyo objetivo es ofrecer sustento teórico a la interpretación de los resultados empíricos presentados anteriormente. Primero, planteamos los fundamentos y resultados del modelo; posteriormente, proveemos la intuición de los resultados teóricos sobre la cual basamos nuestra interpretación de los resultados empíricos.

Considérese a un productor cañero representativo i , el cual produce caña de azúcar de acuerdo con una función de producción Cobb-Douglas con rendimientos decrecientes a escala:

$$q_i \equiv q(K_i, H_i) = K_i^\alpha H_i^\beta \quad (2)$$

con $\alpha + \beta < 1$, y donde K_i engloba los insumos de capital referidos con anterioridad (p. ej., fertilizantes, maquinaria de cosecha, sistemas de irrigación) en tanto que H_i denota la dotación (exógena) de tierra de i .

El costo al que el cañero i puede adquirir insumos de capital, r_i , exhibe una relación inversa con la extensión de su parcela. Dicha relación obedece a la generación de economías de escala que se hacen manifestas en el acceso, por ejemplo, a precios de mayoreo de los insumos o créditos en condiciones más favorables. Bajo esta premisa suponemos la forma funcional

$$r_i \equiv r(H_i) = H_i^{-\gamma} \quad (3)$$

con $\gamma > 0$; suponemos que el costo de los insumos de capital es suficientemente sensible a la extensión del lote cañero, en particular

$$\gamma > \frac{1 - \alpha - \beta}{\alpha} \quad (4)$$

Si el cañero i decide producir caña en autarquía —es decir, sin realizar su actividad productiva en asociación con otros cañeros—, entonces adquiere insumos de capital de acuerdo con la solución del siguiente programa:

$$\max_{\{K_i \geq 0\}} \pi(K_i, H_i; \alpha, \beta, \gamma, p) = pq_i - r_i K_i \quad (5)$$

donde p es el precio de la caña de azúcar (suponemos que el cañero representativo es precio aceptante).²³ Así, bajo autarquía (denotada por el superíndice A) el cañero i adquiere insumos de capital²⁴

$$K_i^A = (apH_i^{\beta+\gamma})^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (6)$$

mismos que coadyuvan a la producción de caña en un monto equivalente a

$$q_i^A = (\alpha p)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} H_i^{\frac{\alpha\gamma+\beta}{1-\alpha}} \quad (7)$$

que a su vez implica un rendimiento por unidad de extensión de tierra de

$$\tilde{q}_i^A = \frac{q_i^A}{H_i} = (\alpha p)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} H_i^{\frac{\alpha(1+\gamma)+\beta-1}{1-\alpha}} \quad (8)$$

Obsérvese que debido al supuesto (4), $d\tilde{q}_i^A/dH_i > 0$; esto es, la productividad de las parcelas cañeras es creciente en la extensión de éstas.

Finalmente, el cañero operando en autarquía obtiene ganancias por

$$\pi_i^A = (\alpha p)^{\frac{1}{1-\alpha}} \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right) H_i^{\frac{\alpha\gamma+\beta}{1-\alpha}} \quad (9)$$

Alternativamente, el cañero i puede asociarse con otros cañeros a fin de consolidar su predio con las parcelas de extensión H_{-i} de los demás productores, y así poder generar las economías de escala que le permita adquirir insumos de capital a un menor costo medio.²⁵ La parcela consolidada tendría una superficie equivalente a $\lambda > 1$ veces el tamaño del lote del cañero i . Es decir,

²³ Campos Ortiz y Oviedo Pacheco (2013) describen en detalle el sistema utilizado en México para determinar el precio de la caña de azúcar.

²⁴ Podemos descartar la existencia de una solución esquina ($K_i^A = 0$), dado que $\lim_{K_i \rightarrow 0} (\alpha p K_i^{\alpha-1} H_i^{\beta} - H_i^{-\gamma}) > 0$.

²⁵ Este modelo se abstrae del problema que enfrenta el cañero i de elegir con qué otros productores buscaría asociarse. Ello, porque el objetivo del modelo es examinar las condiciones en las cuales asociarse con otros cañeros es redituable, así como las implicaciones de esta decisión. Esto nos permite abstraernos del problema de búsqueda de los potenciales miembros de la asociación.

$$\lambda H_i = H_i + H_{-i} \quad (10)$$

La asociación entre el cañero i y otros productores genera un costo que aumenta convexamente con la extensión de la parcela consolidada. Esta relación se puede motivar si, por ejemplo, se considera que entre mayor sea la extensión de las parcelas individuales, mayores serían las dificultades para coordinar la operación del predio consolidado. Así, suponemos que el costo de la asociación toma la forma funcional

$$c(H_i, H_{-i}) = (H_i + H_{-i})^\eta \quad (11)$$

donde η representa el factor multiplicador del efecto positivo que tiene un aumento en H_i o H_{-i} sobre el costo de la asociación entre cañeros. En efecto, la elasticidad del costo respecto a un cambio en H_j , $j = \{i, -i\}$ es $\eta\phi_j$, donde ϕ_j denota la extensión del lote del(los) cañero(s) j como fracción de la superficie de la parcela consolidada. Esto es, $\forall j = \{i, -i\}$,

$$\phi_j = \frac{H_j}{H_i + H_{-i}} \quad (12)$$

Consecuentemente, un incremento de H_j aumenta el costo de asociación en un factor mayor a su contribución a la superficie de la parcela consolidada, ϕ_j ; dicho factor es capturado por el parámetro η . Suponemos que η es de tal magnitud que

$$\eta > \frac{\alpha\gamma + \beta}{1 - \alpha} \quad (13)$$

Nótese que el condición (4) implica que $\eta > 1$, lo cual genera la relación de forma convexa entre la extensión de las parcelas asociadas y el costo de la asociación.

Las ganancias generadas por la producción de caña en asociación son repartidas de acuerdo con la contribución del lote de cada participante en la superficie total del predio consolidado. En el caso del cañero i , su contribución está dada por ϕ_i , según se define en la ecuación (12).

El análisis en torno a las condiciones en que resulta rentable para el cañero i producir caña en asociación con otros productores, así como las implicaciones de hacerlo sobre la productividad de las parcelas cañeras, procede en tres pasos:

- i) Examinamos la adquisición óptima de insumos de capital, K^S , que la sociedad (denotada por el superíndice S) de cañeros elige para la parcela consolidada, así como las consecuencias que esta elección tendría sobre la productividad de la parcela del cañero i .²⁶
- ii) Analizamos la extensión óptima de la parcela con la que el cañero i buscaría asociarse, dado que éste anticipa cuál sería la adquisición óptima de insumos de capital con fundamento en la extensión del predio consolidado.
- iii) Derivamos la condición en que la asociación con otros productores conviene al cañero i más que la operación en autarquía.

Paso 1: La administración de la parcela consolidada de tamaño λH_i decide sobre la adquisición de insumos con base en el programa

$$\max_{\{K \geq 0\}} \pi(K_i, \lambda H_i; \alpha, \beta, \gamma, \eta, p) = pq(K, \lambda H_i) - r(\lambda H_i)K_i - c(H_i, H_{-i}) \quad (14)$$

del cual se deriva que²⁷

$$K^S = (\alpha p (\lambda H_i)^{\beta+\gamma})^{\frac{1}{1-\alpha}} = K_i^A \lambda^{\frac{\beta+\gamma}{1-\alpha}} \quad (15)$$

Dicha adquisición de insumos de capital contribuye a que la parcela consolidada produzca caña en un monto de

$$q^S = q(K^S, \lambda H_i) = (\alpha p)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} (\lambda H_i)^{\frac{\alpha\gamma+\beta}{1-\alpha}} \quad (16)$$

En este contexto, el cañero i , en particular, produce caña por

$$q_i^S = q(K^S, H_i) = (\alpha p \lambda^{\beta+\gamma})^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} H_i^{\frac{\alpha\gamma+\beta}{1-\alpha}} = q_i^A \lambda^{\frac{\alpha(\beta+\gamma)}{1-\alpha}} \quad (17)$$

monto que implica una productividad de su parcela equivalente a

$$\tilde{q}_i^S = \frac{q_i^S}{H_i} = (\alpha p \lambda^{\beta+\gamma})^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} H_i^{\frac{\alpha(1+\gamma)+\beta-1}{1-\alpha}} = \tilde{q}_i^A \lambda^{\frac{\alpha(\beta+\gamma)}{1-\alpha}} \quad (18)$$

²⁶ Obsérvese la omisión de un subíndice en K^S . Ello obedece a que suponemos que los insumos de capital que la sociedad de cañeros decida adquirir estaría accesible a todos los miembros de la asociación.

²⁷ Podemos descartar la existencia de una solución esquina ($K^S = 0$) dado que $\lim_{K \rightarrow 0} (\alpha p K^{\alpha-1} (\lambda H_i)^\beta - (\lambda H_i)^{-\gamma}) > 0$.

Las expresiones (17) y (18) indican que tanto la producción de caña como los rendimientos de la parcela son mayores cuando el cañero i opera en sociedad con otros productores que cuando lo hace en autarquía.

Cerramos el primer paso derivando la función de ganancias del cañero i en caso de asociarse con otros productores:

$$\begin{aligned}\pi(H_i, H_{-i}; \alpha, \beta, \gamma, \eta, p) &= \phi_i[pq^S - r(\lambda H_i)K^S - c(H_i, H_{-i})] \\ &= (\alpha p)^{\frac{1}{1-\alpha}} \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right) H_i (H_i + H_{-i})^{\frac{\alpha(1+\gamma)+\beta-1}{1-\alpha}} - H_i (H_i + H_{-i})^{\eta-1}\end{aligned}\quad (19)$$

Paso 2: Anticipando cuál sería su ganancia como función de la extensión de su propia parcela, H_i , y la superficie de los predios con los que se asocia, H_{-i} , el cañero i elige el tamaño óptimo de los segundos resolviendo el siguiente problema:

$$\max_{\{H_{-i} \geq 0\}} \pi(H_i, H_{-i}; \alpha, \beta, \gamma, \eta, p) \quad (20)$$

Con el fin de ahorrar notación, establecemos las siguientes identidades:

$$\delta \equiv (\alpha p)^{\frac{1}{1-\alpha}} \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right) \quad (21)$$

$$\varepsilon \equiv \frac{\alpha(1+\gamma)+\beta-1}{(\eta-1)(1-\alpha)} \quad (22)$$

y

$$\sigma \equiv \frac{\alpha\gamma+\beta}{1-\alpha} \quad (23)$$

Nótese que todas estas constantes toman valores positivos.²⁸

El programa (19) genera una solución esquina (es decir, $H_{-i}^* = 0$) si se observa la siguiente desigualdad:

$$H_i \geq (\delta\varepsilon)^{\frac{1}{\eta-\sigma}} \quad (24)$$

De otra forma, se obtiene la solución interior

²⁸ La desigualdad (4) implica que $\varepsilon > 0$.

$$H_{-i}^* = (\delta\epsilon)^{\frac{1}{\eta-\sigma}} - H_i \quad (25)$$

La expresión (25) muestra el reemplazo (*crowding out*) uno-a-uno que existe entre la parcela del cañero i y los predios asociados, lo cual se explica por la perfecta sustituibilidad que existe entre las tierras de los diferentes cañeros.²⁹

Concluimos este paso reescribiendo las expresiones (15)-(19) en términos de los primitivos del modelo bajo el escenario (no trivial) de la solución interior (25). La adquisición óptima de insumos de capital asciende a

$$K^S = \left[\alpha p (\delta\epsilon)^{\frac{\beta+\gamma}{\eta-\sigma}} \right]^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (26)$$

mismos que aportan a la producción de caña de la parcela consolidada en un monto de

$$q^S = (\alpha p)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} (\delta\epsilon)^{\frac{\alpha\gamma+\beta}{(\eta-\sigma)(1-\alpha)}} \quad (27)$$

Asimismo, el cañero i produce caña por

$$q_i^S = \left[\alpha p (\delta\epsilon)^{\frac{\beta+\gamma}{\eta-\sigma}} \right]^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} H_i^\beta \quad (28)$$

lo cual implica un rendimiento de su parcela de

$$\tilde{q}_i^S = \left[\alpha p (\delta\epsilon)^{\frac{\beta+\gamma}{\eta-\sigma}} \right]^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} H_i^{-(1-\beta)} \quad (29)$$

Dado que $d\tilde{q}_i^S/dH_i < 0$, la expresión (29) implica una relación inversa entre el tamaño de la parcela del cañero i y sus rendimientos.

Finalmente, la ganancia que obtiene el cañero i al operar en asociación con otros productores es

²⁹ Implícitamente, esto requiere que las tierras de los diferentes productores cañeros presenten la misma calidad y mismas condiciones para su explotación.

$$\pi_i^S = \left[\delta(\delta\varepsilon)^{\frac{\sigma-1}{\eta-\sigma}} - (\delta\varepsilon)^{\frac{\eta-1}{\eta-\sigma}} \right] H_i \quad (30)^{30}$$

Paso 3: El cañero i tiene incentivos para asociarse con otros productores si

$$\pi_i^S > \pi_i^A \quad (31)$$

Sustituyendo las expresiones (9) y (30) y manipulando algebraicamente la desigualdad, la condición (31) se traduce a que la asociación es redituable para el cañero i si

$$H_i < H^U \quad (32)$$

donde

$$H^U \equiv \delta^{\frac{1}{\eta-\sigma}} \left(\frac{\sigma-1}{\varepsilon^{\frac{\sigma-1}{\eta-\sigma}} - \varepsilon^{\frac{\eta-1}{\eta-\sigma}}} \right)^{\frac{1}{\sigma-1}} \quad (33)^{31}$$

A continuación ofrecemos la intuición de los principales resultados del modelo. Un cañero cuya parcela es suficientemente extensa —específicamente de una superficie mayor o igual al umbral H^U — encontrará más redituable producir en autarquía que en asociación con otros cañeros. En este escenario, la elección óptima de insumos de capital se relaciona positivamente con el tamaño del lote cañero [ecuación (6)]. Esto obedece a que un predio de mayor extensión genera las economías de escala que permiten la adquisición de insumos a un menor costo medio. Así, el factor tierra incide sobre la producción de caña tanto directamente (al ser un argumento de la función de producción) como indirectamente (al influir positivamente sobre el otro argumento de la función de producción, los insumos de capital). La combinación de estas fuerzas convierte al factor tierra en un insumo para

³⁰ El supuesto (13) implica que $\pi_i^S > 0$.

³¹ Cabe señalar dos observaciones. Primero, el supuesto (13) implica que el término entre paréntesis, y con ello el lado derecho de la identidad, son positivos. Y segundo, por el supuesto (4),

$$\delta^{\frac{1}{\eta-\sigma}} \left(\frac{\sigma-1}{\varepsilon^{\frac{\sigma-1}{\eta-\sigma}} - \varepsilon^{\frac{\eta-1}{\eta-\sigma}}} \right)^{\frac{1}{\sigma-1}} < (\delta\varepsilon)^{\frac{1}{\eta-\sigma}}$$

lo cual implica que la solución esquina ($H_{-i}^* = 0$) nunca se alcanza. Por ende, cuando la asociación con otros cañeros resulta beneficiosa para el cañero i , éste siempre la llevará a cabo con el objetivo de conformar una parcela consolidada de mayor extensión a la suya (es decir, $\lambda > 1$), lo cual logra eligiendo $H_{-i}^* < 0$, específicamente como la ecuación (25) lo prescribe.

la producción de caña con rendimientos crecientes [ecuación (7)], con lo cual la productividad de la tierra es mayor entre mayor sea la extensión del lote cañero [ecuación (8)].³²

Un cañero cuya parcela es suficientemente pequeña —de una extensión menor al umbral H^U — encontrará más redituable producir en asociación con otros cañeros que en autarquía. Ello porque la asociación conduce a la consolidación de parcelas con el fin de generar las economías de escala que facilitan la adquisición de insumos de capital a un menor costo medio, traduciéndose en una mayor utilización de dichos insumos respecto al escenario de autarquía [ecuación (15)]. A su vez, la mayor utilización de insumos de capital redundará tanto en una mayor producción como en un mayor rendimiento de la parcela del cañero representativo i [expresiones (17) y (18)]. En este escenario, sin embargo, la productividad de la parcela del cañero i disminuye entre mayor sea su extensión [ecuación (29)]. Este resultado ocurre a partir de la combinación de dos factores, a saber: la perfecta sustituibilidad entre parcelas y el rendimiento decreciente de la tierra en la función de producción de caña. La perfecta sustituibilidad entre parcelas, reflejada en la ecuación (25), conlleva una elección óptima de insumos de capital constante [expresión (26)], ya que la carencia de escala de la parcela i de puede ser compensada perfectamente con la superficie de otro lote. Ello evita que la extensión de la parcela del cañero i refuerce el efecto directo del factor tierra sobre la producción de caña a través de un impacto sobre la adquisición de capital. En consecuencia, la tierra mantiene su rendimiento decreciente [ecuación (28)] que, a su vez, implica una productividad de la parcela que disminuye con la superficie de ésta [expresión (29)].³³

De esta forma, el modelo ofrece una justificación teórica de los resultados empíricos. Por una parte, 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, traduciéndose en una mayor productividad de los grandes predios cañeros.³⁴ Este mismo argumento puede inclusive ser extendido

³² La convexidad del segmento positivo de la relación entre la extensión de las parcelas y su productividad, documentada en los resultados empíricos, puede ser generada en el modelo si se refuerza la condición (4). En particular, si se supone que $\gamma > ((2(1-\alpha) - \beta)/\alpha)$.

³³ La convexidad del segmento negativo de la relación entre la superficie de los predios cañeros y su productividad, observada en los resultados empíricos, está implícita en el modelo, ya que $d^2\tilde{q}_i^S/dH_i^2 > 0$.

³⁴ 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

a un escenario de un campo altamente atomizado, en el cual los pequeños propietarios buscarían asociarse a fin de consolidar de facto sus predios y, con ello, generar las economías de escala que les facilite el acceso a insumos, lo cual redundaría en una mayor productividad de sus parcelas. La perfecta sustituibilidad de las parcelas asociadas, junto con los rendimientos decrecientes del factor tierra, son los factores que explican la baja productividad de las parcelas de tamaño medio relativo a los predios pequeños y grandes.³⁵

IV. PRUEBAS DE ROBUSTEZ

En esta sección sometemos a una batería de pruebas de robustez la forma funcional de la ecuación (1) así como las estimaciones que se derivan de ésta. Los resultados de las pruebas se muestran en el cuadro 5. A fin de facilitar el comparativo con los resultados de referencia, el panel A reproduce las estimaciones base.

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 su inclusión constituye una mejora estadísticamente significativa. Los resultados se reportan en el panel B. Dado que: *i*) el tamaño crítico de las parcelas cañeras a partir del cual cambia la dirección de la relación de interés es grande en relación con la extensión de la mayoría de las parcelas, y *ii*) 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

parcelas de mayor tamaño incide positivamente en 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.

³⁵ Un factor adicional —no explorado en el modelo—, que también podría estar incidiendo en la utilización más intensiva de insumos en los predios de menor y mayor extensión, se deriva de que los productores medianos no cuentan con los apoyos (es decir, subsidios) que los pequeños productores reciben para la adquisición de insumos, ni poseen la misma capacidad financiera que tienen los grandes productores para el mismo fin.

CUADRO 5. *Pruebas*
Variable dependiente: producción

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
A. Resultados base					
Tamaño parcela	-1.691*** (0.372)	-1.699*** (0.368)	-0.733** (0.306)	-0.708** (0.278)	-0.769*** (0.258)
Tamaño parcela ²	0.102*** (0.029)	0.1 03*** (0.029)	0.045** (0.021)	0.041** (0.019)	0.044** (0.018)
Tamaño crítico de las parcelas	8.3	8.2	8.1	8.6	8.7
B. Pruebas sobre la especificación cuadrática					
Tamaño parcela	-0.560*** (0.139)	-0.562*** (0.141)	-0.17 (0.111)	-0.190* (0.095)	-0.211** (0.086)
H ₀ : $\beta_2 = 0$	<0.01	<0.01	0.036	0.035	0.018
H ₀ : $\beta_1 = \beta_2 = 0$	<0.01	<0.01	0.055	0.018	<0.01
C. Resultados excluyendo el ingenio La Primavera (PRI)					
Tamaño parcela	-2.035*** (0.403)	-2.025*** (0.404)	-1.000*** (0.329)	-0.934*** (0.306)	-0.935*** (0.298)
Tamaño parcela ²	0.137*** (0.032)	0.135*** (0.032)	0.068*** (0.023)	0.061*** (0.022)	0.060*** (0.021)
Tamaño crítico de las parcelas	7.4	7.5	7.4	7.7	7.8
D. Resultados excluyendo los ingenios La Primavera (PRI) y El Higo (HIG)					
Tamaño parcela	-2.140*** (0.501)	-2.126*** (0.505)	-0.958** (0.367)	-0.906** (0.362)	-0.976*** (0.354)
Tamaño parcela ²	0.148*** (0.044)	0.146*** (0.045)	0.061** (0.030)	0.056* (0.031)	0.065** (0.029)
Tamaño crítico de las parcelas	7.2	7.3	7.9	8.1	7.5
E. Resultados ponderados por la producción de caña					
Tamaño parcela	-2.181*** (0.470)	-2.181*** (0.473)	-0.928** (0.371)	-0.916*** (0.341)	-0.932*** (0.315)
Tamaño parcela ²	0.137*** (0.035)	0.137*** (0.036)	0.060** (0.025)	0.056** (0.023)	0.056** (0.021)
Tamaño crítico de las parcelas	8.0	8.0	7.7	8.2	8.3
F. Resultados ponderados por la producción de azúcar					
Tamaño parcela	-2.260*** (0.479)	-2.257*** (0.483)	-0.934** (0.380)	-0.920** (0.349)	-0.930*** (0.324)
Tamaño parcela ²	0.143*** (0.036)	0.142*** (0.036)	0.061** (0.026)	0.057** (0.024)	0.056** (0.022)
Tamaño crítico de las parcelas	7.9	7.9	7.7	8.1	8.3
G. Controles					
Constante	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Dummies por zafra	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Dummies por estado	No	No	Sí	Sí	Sí
Precipitación, Admón. ingenio	No	No	No	Sí	Sí
Fertilizante (lineal y cuadrático)	No	No	No	No	Sí
Alzado mecánico, vehículos y cortadores	No	No	No	No	No
Riego	No	No	No	No	No
Cosecha mecánica	No	No	No	No	No
Altitud	No	No	No	No	No

^a Los errores estándar ajustados por heteroscedasticidad y agrupados por municipio se muestran entre paréntesis.
* 10%, ** 5% y *** 1 por ciento.

de robustez^a

de sacarosa por hectárea

(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
-0.701*	-0.415	-0.549	-0.088	0.102	-0.781**	0.239	0.166
(0.385)	(0.252)	(0.436)	(0.362)	(0.366)	(0.318)	(0.240)	(0.278)
0.045	0.018	0.028	-0.003	-0.017	0.051**	-0.018	-0.011
(0.027)	(0.016)	(0.026)	(0.026)	(0.025)	(0.022)	(0.018)	(0.020)
7.8	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	7.7	Irrelevante	Irrelevante
-0.136	-0.187**	-0.153	-0.126*	-0.13	-0.14	0.002	0.015
(0.108)	(0.079)	(0.125)	(0.068)	(0.087)	(0.124)	(0.076)	(0.080)
0.102	0.273	0.281	0.910	0.496	0.026	0.314	0.58
0.172	0.038	0.349	0.134	0.186	0.058	0.596	0.837
-0.735*	-0.428	-0.941*	-0.078	0.164	-0.993**	0.237	0.173
(0.408)	(0.338)	(0.516)	(0.371)	(0.369)	(0.377)	(0.237)	(0.273)
0.047	0.017	0.057	-0.003	-0.021	0.072**	-0.018	-0.012
(0.028)	(0.025)	(0.034)	(0.027)	(0.025)	(0.027)	(0.018)	(0.020)
7.8	Irrelevante	8.3	Irrelevante	Irrelevante	6.9	Irrelevante	Irrelevante
-0.686	-0.585	-1.048	-0.287	-0.125	-0.996**	0.238	0.091
(0.475)	(0.401)	(0.629)	(0.451)	(0.478)	(0.473)	(0.325)	(0.402)
0.04	0.038	0.067	0.021	0.01	0.072*	-0.018	-0.005
(0.038)	(0.034)	(0.049)	(0.035)	(0.037)	(0.040)	(0.028)	(0.035)
Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	6.9	Irrelevante	Irrelevante
-0.641	-0.327	-0.844	0.002	0.152	-1.153***	0.205	0.157
(0.416)	(0.245)	(0.510)	(0.298)	(0.288)	(0.413)	(0.241)	(0.264)
0.043	0.011	0.047	-0.009	-0.019	0.075**	-0.015	-0.011
(0.028)	(0.018)	(0.032)	(0.022)	(0.020)	(0.029)	(0.018)	(0.018)
Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	7.7	Irrelevante	Irrelevante
-0.622	-0.313	-0.868*	0.008	0.151	-1.217***	0.182	0.132
(0.423)	(0.253)	(0.515)	(0.301)	(0.297)	(0.426)	(0.245)	(0.265)
0.042	0.01	0.049	-0.009	-0.019	0.079**	-0.013	-0.009
(0.028)	(0.018)	(0.032)	(0.022)	(0.021)	(0.030)	(0.018)	(0.019)
Irrelevante	irrelevante	8.9	Irrelevante	irrelevante	7.7	Irrelevante	Irrelevante
Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No
Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
No	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí
No	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí
No	No	Sí	No	Sí	No	No	Sí
No	No	No	No	No	Sí	Sí	Sí

El cuadro 1 presenta la definición de cada variable. Los asteriscos denotan significancia estadística a niveles del

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). Primero, 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 podrían 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 de 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.

CONCLUSIÓN

Como parte de este proyecto, sostuvimos diversas entrevistas con participantes del sector azucarero. Una fracción importante de nuestros interlocutores argumentó que la alta atomización del campo cañero es uno de los obstáculos más perniciosos para el desarrollo del sector, dado el impacto negativo que esta estructura agraria tiene sobre la productividad de los predios cañeros. La narrativa de programas públicos, como el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, coincide con dicha apreciación.

El presente estudio ofrece sustento empírico a la noción de que a partir de una extensión aproximada de 8 hectáreas los predios de mayor superficie tienden a ser más productivos. Este resultado se complementa con el hallazgo de que los minifundios también tienden a registrar altos rendimientos relativos a las parcelas de tamaño medio. La evidencia empírica y teórica 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, un tema que merece un análisis más profundo es el uso más intensivo de insumos en parcelas pequeñas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad M., y S. Khan Qureshi (1999), "Recent Evidence on Farm Size and Land Productivity: Implications for Public Policy", *The Pakistan Development Review*, vol. 38, núm. 4, pp. 1135-1153.
- Artís Espriu, G. (1997), "Minifundio y fraccionamiento de la tierra ejidal parcelada", *Estudios Agrarios*, vol. 3, núm. 8, pp. 11-31.

- Bardhan, P. (1973), "Size, Productivity, and Returns to Scale: An Analysis of Farm-Level Data in Indian Agriculture", *Journal of Political Economy*, vol. 81, núm. 6, pp. 1370-1386.
- Bhalla, S. S., y P. Roy (1988), "Misspecification in Farm Productivity Analysis: The Role of Land Quality", *Oxford Economic Papers*, vol. 40, núm. 1, pp. 55-73.
- Campos Ortiz, F., y M. Oviedo Pacheco (2013), "Estudio sobre la competitividad de la industria azucarera en México", documentos de investigación del Banco de México, núm. 2013-16.
- 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, pp. 131-145.
- CEMA (2002), *Manual azucarero mexicano 2002*, México.
- ____ (2003), *Manual azucarero mexicano 2003*, México.
- ____ (2004), *Manual azucarero mexicano 2004*, México.
- ____ (2005), *Manual azucarero mexicano 2005*, México.
- ____ (2006), *Manual azucarero mexicano 2006*, México.
- ____ (2007), *Manual azucarero mexicano 2007*, México.
- ____ (2008), *Manual azucarero mexicano 2008*, México.
- ____ (2009), *Manual azucarero mexicano 2009*, México.
- ____ (2010), *Manual azucarero mexicano 2010*, México.
- ____ (2011), *Manual azucarero mexicano 2011*, México.
- ____ (2012), *Manual azucarero mexicano 2012*, México.
- Chen, Z., W. Huffman, y S. Rozelle (2011), "Inverse Relationship between Productivity and Farm Size: The Case of China", *Contemporary Economic Policy*, vol. 29, núm. 4, pp. 580-592.
- Cornia, G. A. (1985), "Farm Size, Land Yields and the Agricultural Production Function: An Analysis for Fifteen Developing Countries", *World Development*, vol. 13, núm. 4, pp. 513-534.
- Fan, S., y C. Chan-Kang (2005), "Is Small Beautiful? Farm Size, Productivity, and Poverty in Asian Agriculture", *Agricultural Economics*, vol. 32, núm. 1, pp. 135-146.
- FAO (2012), "Sistema de información de los recursos del pienso" (<http://www.fao.org/ag/AGA/AGAP/FRG/AFRIS/espanol/Document/tfeed8/Data/474.HTM>), 20 de febrero de 2013.
- Fernández y Fernández, R. (1946), "Problemas creados por la reforma agraria en México", *EL TRIMESTRE ECONÓMICO*, vol. XIII, núm. 3, pp. 463-494.
- Helfand, S., y E. Levine (2004), "Farm Size and the Determinants of Productive Efficiency in the Brazilian Center-West", *Agricultural Economics*, vol. 31, núm. 2-3, pp. 241-249.
- Heltberg, R. (1998), "Rural Market Imperfections and the Farm Size-Productivity Relationship: Evidence from Pakistan", *World Development*, vol. 26, núm. 10, pp. 1807-1826.

- Kagin, J., J. E. Taylor, y A. Yúnez Naude (2012), "Inverse Productivity or Inverse Efficiency? Evidence from Mexico", mimeo, El Colegio de México.
- Pérez Zamorano, A. (2007), *Tenencia de la tierra e industria azucarera*, México, Editorial Porrúa.
- ____ (2011), "Estructura agraria y sector agrícola en México", mimeo.
- Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (<http://pnd.gob.mx/>), 29 de julio de 2013.
- Sagarpa (2007), *Programa sectorial de desarrollo agropecuario y pesquero 2007-2009*, México.
- Sagarpa (2010), *Bases técnicas para el fomento a la producción de biocombustibles en el país a partir de la caña de azúcar*, México.
- ____ (2013), "Comparecencia de Enrique Martínez y Martínez, titular de la Sagarpa en la Cámara de Diputados" (<http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/discursos2012-2018/Paginas/2013D010.aspx>), 29 de julio de 2013.
- Sen, A. (1962), "An Aspect of Indian Agriculture", *Economic Weekly*, 14, pp. 243-246.
- Thapa, S. (2007), "The Relationship between Farm Size and Productivity: Empirical Evidence from the Nepalese Mid-hills", documento presentado durante el Seminario 106 de la Asociación europea de economistas agrícolas.
- UNC-CNPR (2010), *Estadísticas de la agroindustria de la caña de azúcar 2001-2010*, México.
- ____ (2011), *Estadísticas de la agroindustria de la caña de azúcar 2002-2011*, México.
- Warman, A. (2003), "La reforma agraria mexicana: una visión de largo plazo", *Land Reform, Land Settlement and Cooperatives*, 2003/2, pp. 84-94.