

Eficiencia técnica y economías de escala de los ingenios azucareros en México

Jonatan Blas-Cortés¹
José Miguel Omaña-Silvestre¹
Ramón Valdivia-Alcala^{2,5}
Fermín Sandoval-Romero³
Ilich Miguel Santiago-Zarate²
Juanita Japheth Valdivia-Cabral²

1 Programa en Economía del Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática-Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. Tel. 55 20493083. (blasj316@gmail.com; miguelom@colpos.mx).

2 Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México. CP. 56264. Tel. 595 9521500, ext. 1668. (juanita-valdiviac@hotmail.com).

3 Consultor-Investigador independiente. Cerrada Camino Real 8, San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México. CP. 56220. Tel. 595 1020168. (fsandoval.romero@gmail.com).

Autor para correspondencia: ramvaldi@gmail.com.

Resumen

Durante la última década la agroindustria de la caña de azúcar ha mostrado un gran dinamismo al incrementar constantemente la producción de azúcar estándar y garantizar la autosuficiencia de este edulcorante en el país generando incluso excedentes para exportar. No obstante, aún en documentos oficiales se señala que tal agroindustria presenta un marcado atraso tecnológico e ineficiencia. El estudio se llevó a cabo en 2021. Este trabajo tiene dos objetivos: estimar la eficiencia técnica global por ingenio y descomponerla en eficiencia pura y eficiencia de escala, así como determinar el tipo de rendimientos a escala de cada ingenio azucarero. El método utilizado fue el análisis de datos envolventes y la elasticidad de escala. El periodo estudio fue la zafra 2009-2010 y se consideraron 54 ingenios para los que se contó con información desagregada. El principal hallazgo mostró que solo 21 ingenios (38.9%) tuvieron un desempeño óptimo pues operaron con rendimientos constantes a escala. Otros 28 ingenios (51.9%) operaron con rendimientos crecientes a escala y solo cinco ingenios (9.3%) operaron con rendimientos decrecientes a escala. Estos hallazgos fueron confirmados por las magnitudes de la elasticidad de escala de cada grupo de ingenios. La conclusión principal es que hace más de diez años había espacio para que los ingenios que operaban con rendimientos crecientes a escala fueran reestructurados en tamaño y administración de insumos sobre los que tienen control, lo cual habría permitido mejorar su desempeño global al obtener economías de escala y mejorar su eficiencia pura y por lo tanto, para la agroindustria de caña de azúcar como un todo.

Palabras clave:

agroindustria de la caña de azúcar, deseconomías de escala, orientación al insumo, retornos a escala.

Introducción

En México el cultivo de la caña de azúcar es importante según lo muestran varios indicadores. En el año agrícola 2019, con tan solo 4% de la superficie nacional cosechada, la caña de azúcar participó con 6.8% del valor bruto de la producción agrícola nacional, por el maíz grano, el cual significó 34.6% de la superficie cosechada nacional y aportó 15.5% del valor de la producción; y por el aguacate, que con 1.1% de la superficie participó con 7.3% del valor bruto de la producción agrícola nacional (SIAP, 2020). De acuerdo con CEMA (2017) , en la zafra 2016-2017 participaron 184 171 productores de los cuales 71.5% corresponde a ejidatarios, 24.6% a pequeños propietarios y 3.9% a otro tipo de productores como arrendatarios y parcelas escolares.

En esa misma zafra se emplearon 69 971 cortadores (CONADESUCA, 2017). La agroindustria de la caña de azúcar es importante no solo por los indicadores enunciados anteriormente, sino también porque el cultivo se desarrolla en 15 entidades federativas e impacta 267 municipios (CONADESUCA, 2020b). De acuerdo con el CONADESUCA (2020b) , esta agroindustria nacional en la zafra 2019-2020, con su capacidad instalada en 50 ingenios que operaron, industrializó 783 000 ha, molió 49 millones de toneladas de caña bruta y obtuvo una producción de 5.3 millones de toneladas de azúcar, lo cual garantiza la autosuficiencia del mercado nacional de este edulcorante y el cumplimiento de los compromisos comerciales internacionales como los contraídos con los Estados Unidos de América.

En el ámbito legal, las relaciones entre los industriales de la caña de azúcar y los abastecedores de la materia prima en la zona de influencia de los ingenios azucareros son reguladas por la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (LDSCA) de 2005, que establece lineamientos específicos en cuanto a las actividades relacionadas con la agricultura de contrato, los procesos de la siembra, el cultivo, la cosecha, la industrialización y la comercialización de la caña de azúcar, sus productos, subproductos, coproductos y derivados. En el contexto anterior, los indicadores señalados muestran que la caña de azúcar es importante en la agricultura mexicana por su contribución a la economía, al empleo y como productora del azúcar a granel que es el insumo primario para otras cadenas productivas como la industria panificadora, galletera, entre otras.

De acuerdo con FIRA (2016) la agroindustria de la caña de azúcar muestra en general un gran atraso tecnológico. Quizás el indicador más revelador de la situación crítica que supuestamente enfrentan los ingenios azucareros es el hecho de que en 24 años han cerrado o dejado de operar 11 ingenios al pasar de 61 que operaron en la zafra 1995-1996 a 50 que operaron en la zafra 2019-2020. Es decir, en ese periodo ha dejado de operar 18% de la capacidad de molienda de la agroindustria de la caña de azúcar en México.

Ahora bien, el estudio del desempeño de una unidad económica ya sea en la agricultura, industria o en el sector servicios se realiza a través de los índices de eficiencia y la productividad siendo los más comunes aquellos que definen la productividad en términos de la relación de unidades de producto por unidad de insumo (Bröchner, 2017).

No obstante que las anteriores medidas de productividad aportan información valiosa sobre la rentabilidad, las tecnologías utilizadas, el manejo de los insumos para producir una unidad de producto y existen muchos indicadores más acerca de la posición de la empresa o unidad económica en el mercado, su competencia, su cuota de mercado, entre otros, estos son indicadores parciales que no permiten medir la eficiencia y productividad de la empresa como una unidad de toma de decisiones y compararla contra todas las demás unidades que producen o fabrican el mismo producto o productos con características similares y homogéneas con prácticamente la misma clase de insumos (Hackman, 2008 ; Rasmussen, 2011).

En este contexto la presente investigación tiene dos objetivos. El primero es estimar la eficiencia técnica global por ingenio y desagregarla en la llamada eficiencia técnica pura y la eficiencia de escala. El segundo objetivo es determinar el tipo de rendimiento a escala de cada ingenio azucarero con la ayuda de los tipos de eficiencia y elasticidad de escala que presente cada ingenio.

El periodo de estudio es la zafra 2009-2010, elegida debido a que en está operaban tres ingenios azucareros que actualmente han detenido sus actividades de molienda o han cerrado por completo, situación que permite visualizar si sus indicadores de eficiencia eran indicativos de que dicha situación podrían ocurrir.

Materiales y métodos

En el estudio empírico de la productividad, la eficiencia y el cambio tecnológicos, en las llamadas unidades de toma de decisiones (DMU), se utilizan fundamentalmente dos enfoques. El primero es el llamado análisis de frontera estocástica y el segundo el análisis de datos envolventes. El método de frontera estocástica asume una forma funcional a la que se ajustan los datos de ahí que reciba la denominación de estimación paramétrica de la eficiencia. Dicho método se inició con los trabajos de Aigner *et al.* (1977); Meeusen y Van den Broeck (1977).

En el caso del análisis de datos envolventes (DEA) la llamada frontera eficiente de producción se construye a partir de la programación lineal por lo que no se asume una forma funcional particular, razón por la cual a este método se le llama estimación no paramétrica de la eficiencia. Esta forma de determinar cuáles DMU son eficientes y cuales no se ha desarrollado a partir de estudios de Charnes *et al.* (1978); Banker *et al.* (1984). Ambos tipos de estimación de la eficiencia construyen las fronteras eficientes a partir de las DMU con las mejores prácticas, técnicas y económicas, que delimitan los datos desde arriba o desde abajo y estas fronteras proporcionan aproximaciones empíricas a los óptimos teóricos que reflejan la llamada eficiencia técnica o económica.

Los dos métodos de estimar la eficiencia, o ineficiencia según se vea, se originan en el trabajo de Farrell (1957). Como se ha mencionado, el trabajo de Charnes *et al.* (1978) fue el primero en proponer la metodología del análisis de datos envolventes para estimar empíricamente la eficiencia de las DMU. El modelo de estos autores se ha denominado modelo CCR de rendimientos constantes a escala. La primera tarea de los desarrolladores del modelo CCR fue estimar la eficiencia técnica en la presencia de insumos múltiples, productos múltiples y sin considerar datos de precios.

De acuerdo con Escobedo *et al.* (2019), Santiago *et al.* (2021); Valdivia *et al.* (2022) el resultado del trabajo de Charnes *et al.* (1978) fue la formulación del modelo CCR del análisis de datos envolventes en forma de un cociente o de programación fraccional. En contraste con el enfoque de frontera estocástica, cuyo propósito es optimizar un solo plano de regresión a través de los datos, en el enfoque no paramétrico de la DEA se optimiza un modelo para cada observación con el propósito de 'construir' una frontera por partes discretas (o trozos) determinada por el grupo de las DMU Pareto-eficientes.

En el enfoque de la frontera estocástica la línea de regresión optimizada se asume que aplica a cada una de las DMU pero en el enfoque DEA se optimiza la medida del desempeño de cada DMU, lo cual resulta en un entendimiento revelado acerca de cada DMU, en lugar de la típica DMU promedio de la regresión en la frontera estocástica. Dicho de otra forma, el foco de la DEA está en las observaciones individuales; es decir, observación por observación, en contraste con el enfoque de promedios y estimación de parámetros que son asociados con los enfoques estadísticos de una optimización única (Charnes *et al.*, 1994).

Para poder plantear el modelo CCR se puede asumir que se tiene N insumos y M productos para j empresas y que la para la i -ésima empresa x_i representa un vector columna de insumos y q_j un vector columna para el producto. Además, es necesario asumir que X es una matriz $N \times 1$ de insumos y Q una matriz $M \times 1$ de productos, que representa los datos de producción para todas las j empresas. Además (w es un vector de pesos o ponderadores de los productos y (θ el vector de ponderadores o pesos de los insumos.

La DEA resuelve el desafío de la programación matemática al encontrar los valores de (θ y (w que maximizan los puntajes de eficiencia de la i -ésima empresa sujeta a la restricción de que los puntajes de eficiencia deben ser menores o iguales a uno:

$$\text{Maximize}(, v) \frac{Tq_i}{v^T X_j}$$

$$\text{Subject to } \frac{Tq_j}{T_j X} = 1$$

$$\text{con } j=1, \dots, n, 0$$

Donde: T= representa el operador de matriz transpuesta.

El modelo DEA establecido por Charnes *et al.* (1978) fue orientado al insumo y asumía retornos constantes a escala mientras que Banker *et al.* (1984) propusieron el modelo DEA con retornos variables a escala. Al modelo de retornos constantes a escala se le ha denominado modelo CCR en alusión a los apellidos de sus descubridores (Charnes-Cooper-Rhodes) mientras que al modelo DEA con retornos variables a escala se le ha denominado modelo BCC también en alusión a quienes lo desarrollaron (Banker-Charnes-Cooper).

El modelo CRS asigna pesos o ponderadores a todos sus insumos (inputs) y a todos sus productos (outputs) y entonces es posible calcular el nivel de eficiencia de cada DMU al obtener la proporción del producto agregado ponderado con el total de insumos ponderados. Para obtener la eficiencia técnica total se procede como sigue. El problema de programación fraccional tiene una multitud de soluciones, no obstante al introducir una restricción de la forma $Tq_i = 1$ el problema de maximización se transforma al siguiente problema de minimización:

$$\text{Minimizar}(,)^T X_i$$

$$\text{S. t. } Tq_i = 1$$

$$, 0$$

$$Tq_j - T X_j \leq 0 \quad j=1, \dots, n$$

Para el cálculo de la eficiencia global este problema debe a su vez ser reexpresado como problema de maximización como sigue:

$$\text{Maximizar}(,)_i$$

$$\text{S. t. } q_i \leq TQ$$

$$X_i \geq TX$$

Donde: (= es un vector columna (nx1), mientras (= es un escalar. La solución a esta última ecuación arroja la eficiencia técnica global bajo el supuesto de retornos constantes a escala (TE_{CRS}). Si $\theta_i \geq 1$ la respectiva UDM es eficiente, en caso contrario la misma es ineficiente.

El modelo BCC o modelo de retornos variables a escala se estima utilizando el siguiente modelo de programación lineal en el cual se introduce la condición de que la frontera de producción eficiente debe cumplir la condición de convexidad.

$$\text{Maximizar}(,)_i$$

$$\text{S. t. } q_i \leq TQ + e^T$$

$$X \geq TX$$

$$\geq 0$$

Donde: e= es un vector columna de unos. La solución a esta último modelo de programación lineal (θ_i^{**}) da la llamada eficiencia técnica pura, la cual suele denotarse como TE_{VRS} .

La llamada eficiencia de escala (SE) o debida al tamaño con el que operan las UDM, en este caso los ingenios azucareros, se calcula al dividir la eficiencia técnica global (TE_{CRS}) entre la eficiencia técnica pura. De acuerdo con Zhu (2003) cada DMU puede decidir si opera en una escala subóptima; es decir, con rendimientos decrecientes a escala o rendimientos crecientes a escala.

En el presente estudio, para determinar el tipo de rendimientos a escala de los ingenios azucareros de México se aplicaran dos criterios. El primero es el propuesto por Zhu (2003), para lo cual si se considera que e es un vector columna $n \times 1$ de unos y λ es un vector ($n \times 1$) consistente de los valores óptimos de la variable λ de todos los ingenios azucareros de la agroindustria de caña de azúcar, entonces de acuerdo a Zhu (2003) si $\lambda^* = 1$, entonces se tienen retornos constantes a escala (CRS) $(1, e^T \lambda^*) = 1$ entonces se tienen retornos crecientes a escala (IRS). entonces se tienen retornos decrecientes a escala.

El otro criterio que se utilizó para determinar el tipo de retornos a escala que presentó cada uno de los ingenios azucareros es la llamada elasticidad de escala local. Dado que la frontera de producción eficiente en el caso del DEA es una construcción por 'trozos' con 'esquinas' y no una curva suave como en el caso de la frontera eficiente de la función de producción de la microeconomía neoclásica, no es posible tener una estimación puntual única, por lo que se estima la elasticidad local por la izquierda (límite superior) y la elasticidad local por la derecha (límite inferior).

De acuerdo con Hackman (2008) la elasticidad de escala mide el cambio porcentual en el producto o producción en respuesta a un cambio de 1% en todos los insumos o factores de la producción. Hackman (2008) remarca que cuando todos los insumos cambian proporcionalmente se dice que la escala de operación cambia. En el caso específico del DEA la demostración de como se obtiene teóricamente la elasticidad de escala se encuentra principalmente en Førsund y Hjalmarsson (2004); Førsund *et al.* (2007).

El conjunto de datos utilizado para estimar la elasticidad de escala, retornos a escala y los indicadores de eficiencia son los reportados por CONADESUCA (2017). Los datos corresponden a la zafra 2009-2010, por ser los más completos para los 54 ingenios que operaron en dicha zafra y para los cuales hay información completa. El software utilizado para estimar el modelo del análisis envolvente de datos (DEA) fue el 'benchmarking' (Bogetoft, 2020) que funciona bajo el programa no comercial CRAN-R 4.1.

Resultados y discusión

Las variables utilizadas en el estudio se muestran en el Cuadro 1. Al respecto es importante señalar que la electricidad producida es la reportada directamente por CONADESUCA (2017) en kilowatts-hora por lo que se considera un producto (output). En el caso de la energía total consumida corresponde a la conversión en una unidad común de kilowatts-hora del petróleo y bagazo quemados durante el proceso de molienda de la caña para la obtención del azúcar. Las conversiones se hicieron siguiendo a Rein (2007).

Cuadro 1. Variables utilizadas en el estudio.

Variables	Unidades	Tipo
Azúcar producida por hectárea	(t ha ⁻¹)	Producto
Electricidad producida	(kW-h)	Producto
Energía total consumida	(kW-h)	Insumo
Vehículos de acarreo	Unidades	Insumo
Caña molida bruta	(t)	Insumo
Cortadores	Jornaleros	Insumo
Frentes de corte	Unidades	Insumo
Tiempo de zafra perdido	(h)	Insumo

CONADESUCA (2017).

A la cantidad resultante de la quema de petróleo y bagazo se le agregó la cantidad de electricidad que algunos ingenios llegan a comprar a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), obteniéndose de esta manera la variable referida. No obstante, dado que esta variable se calculó para un proyecto específico de consultoría, no se incluyen sus estadísticas descriptivas

respectivas, aun cuando los valores por ingenio se utilizaron para correr los modelos de programación y calcular los indicadores de eficiencia y de escala. En el Cuadro 2 se muestran los principales datos estadísticos de la sección cruzada correspondientes a la zafra 2009-2010 reportados por CONADESUCA (2017) .

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas de las variables utilizadas.

Variable	Promedio	Valor máximo	Valor mínimo	Desviación estándar
Azúcar producida ha ⁻¹	7.5	15.4	2.5	2.9
Electricidad producida	12 226 600	42 659 300	11 191	9 266 719
Vehículos de acarreo	272	1 272	32	222
Caña molida neta	733 452	2 268 889	14 987	483 874
Cortadores	1 162	3 514	76	772
Frentes de corte	22	102	2	21
Tiempo de zafra perdido	752	1 747	118	308

Adaptado de CONADESUCA (2017) .

El modelo DEA que se corrió en este trabajo fue el modelo multiplicativo orientado al insumo, se utilizó la función de distancia radial para el cálculo de los indicadores de eficiencia global, eficiencia pura, eficiencia de escala y elasticidad de escala. En el estudio se identificaron tres grupos de ingenio de acuerdo con el tipo de rendimientos a escala que presentaron. El primer grupo consistió en 21 ingenios azucareros que presentaron rendimientos constantes a escala (39.6%), el segundo grupo tuvo tres ingenios con rendimientos decrecientes a escala (7.5%) y el tercer grupo conformado por 28 ingenios con rendimientos crecientes a escala (52.8%). En el Cuadro 3 se muestran los ingenios azucareros pertenecientes al primer grupo.

Cuadro 3. Ingenios con rendimientos constantes a escala.

Ingenio	Eficiencia			Elasticidad de escala	
	técnica global	técnica pura	de escala	límite superior	límite inferior
El Dorado	1	1	1	infinito	0.03
Calipam	1	1	1	infinito	0.21
Avance Regional	1	1	1	infinito	0.00
Melchor	1	1	1	infinito	0.08
Ocampo	1	1	1	infinito	0.25
Lázaro Cárdenas	1	1	1	infinito	0.00
Constancia	1	1	1	infinito	0.66
Los Mochis	1	1	1	45.08	0.79
Huixtla	1	1	1	6.28	0.66
San Rafael de Pucté	1	1	1	3.98	0.25
Pedernales Central	1	1	1	3.7	0.01
Casasano	1	1	1	3.3	0.04
Tamazula	1	1	1	2.65	0.3

Ingenio	técnica global	Eficiencia técnica pura	de escala	Elasticidad de escala	
				límite superior	límite inferior
Tres Valles	1	1	1	2.62	0
Adolfo López Mateos	1	1	1	2.6	0.15
Pujilic	1	1	1	2.23	0.05
San José de Abajo	1	1	1	2.07	0.9
Atencingo	1	1	1	2.06	0
Puga	1	1	1	1.87	0.36
San Miguel del Naranjo	1	1	1	1.71	0.05
Aarón Sáenz Garza	1	1	1	1.52	0.25

Como se puede observar, en el grupo de 21 ingenios con rendimientos constantes a escala se localizan aquellos ingenios que están sobre la frontera eficiente de producción. El hecho de que la eficiencia pura para los ingenios de este grupo sea igual a la unidad, muestra que estas UDM han logrado un desempeño óptimo en su proceso productivo pues realizan las mejores prácticas productivas administrando y asignando de manera óptima los insumos o factores de la producción sobre los que tienen control.

El desempeño óptimo del ingenio es indicativo de que en campo puede estarse dando una buena coordinación y entendimiento entre las organizaciones de abastecedores de caña de azúcar, tanto del régimen ejidal, como de pequeños propietarios y los ingenios azucareros para el abastecimiento oportuno de caña de azúcar en planta para su molienda. En el Cuadro 3 también se puede observar que, en el caso de todos los ingenios que operan de manera óptima, la eficiencia de escala es igual a la unidad.

El hallazgo de que los ingenios del Cuadro 1 operan en su escala óptima mediante el DEA se ve confirmado por la elasticidad de escala. Como se observa, para todos los ingenios la elasticidad de escala por la izquierda o límite superior es mayor que la unidad. Esto implica si todos los insumos se incrementaran en 1% el incremento en la producción sería proporcionalmente mayor al 1%. Es decir, por la izquierda en la vecindad del punto de esquina de la frontera eficiente cada UDM se encuentra en la etapa óptima de producción.

En el caso de la elasticidad de escala por la derecha, o límite inferior, es menor que la unidad. Esto es indicativo de que si todos los insumos se incrementaran en 1% el incremento del producto obtenido sería proporcionalmente menor que el 1%. Expresado de otra manera, por la derecha en la vecindad del punto de esquina de la frontera eficiente cada UDM se encuentra en la etapa de la producción que ya no es óptima. Por otro lado, en el Cuadro 4 se hallan los cinco ingenios con rendimientos decrecientes a escala.

Cuadro 4. Ingenios con rendimientos decrecientes a escala.

Ingenio	técnica	Eficiencia técnica pura	de escala	Elasticidad de escala	
				límite superior	límite inferior
El Higo	0.98	1	0.98	0.79	0.21
Emiliano Zapata	0.98	1	0.98	0.87	0.04
La Gloria	0.98	0.98	0.99	0.99	0.56

Ingenio	técnica	Eficiencia		Elasticidad de escala	
		técnica pura	de escala	límite superior	límite inferior
Plan de Ayala	0.94	0.94	1	1.05	0.92
Plan de San Luis	0.93	0.95	0.98	1.19	0.62

El análisis en el caso de este segundo grupo de ingenios azucareros es más complejo. Se observó que para los ingenios El Higo y Emiliano Zapata la eficiencia pura, aquella debido a las mejores prácticas productivas y de gerencia de los recursos que posee la respectiva DMU, es igual a la unidad. No obstante, la eficiencia debida a su tamaño, eficiencia de escala, es menor que la unidad, por lo tanto, las deseconomías de escala que los mismos presentan se debe a su tamaño. En el caso de los ingenios La Gloria y Plan de San Luis su ineficiencia de debe tanto a las práctica productivas y administrativas (gerencia) realizadas, como a su tamaño.

En el caso del ejido La Gloria, tanto la eficiencia pura, como la ineficiencia de escala son menores que la unidad, por lo que su ineficiencia se debe tanto a las prácticas productivas como a su tamaño. La inclusión de los cinco ingenios del Cuadro 4 se ve confirmado por la elasticidad de escala. Si bien en el caso de la elasticidad de escala por la derecha para los ingenios Plan de Ayala y Plan de San Luis es ligeramente mayor que la unidad, esta es muy baja comparada con la elasticidad de escala por la derecha promedio de los demás ingenios (5.8).

Para otros tres ingenios (El Higo, Emiliano Zapata, La Gloria) tanto la elasticidad de escala por la derecha (límite superior) como la elasticidad de escala por la izquierda (límite inferior) son menores que la unidad, lo que permite confirmar que efectivamente estos ingenios muestran rendimientos decrecientes a escala y se encuentran operando de manera subóptima. El tercer grupo de ingenios azucareros, identificado con ayuda del software utilizado, corresponde a los que, si bien están operando de forma subóptima, si aumentaran el tamaño de su planta podrían mejorar su eficiencia, pues presentan rendimientos crecientes a escala según se puede observar en el Cuadro 5 .

Cuadro 5. Ingenios con rendimientos crecientes a escala.

Ingenio	técnica global	Eficiencia		Elasticidad de escala	
		técnica pura	de escala	límite superior	límite inferior
Azuremex	0.86	1	0.86	inf	1.26
José María Morelos	0.82	1	0.82	inf	1.94
El Carmen	0.55	0.94	0.58	inf	1.14
El Refugio	0.51	0.78	0.64	276.12	11.86
Nuevo San Francisco	0.49	0.91	0.54	189.57	4.06
Santa Rosalía	0.57	0.92	0.62	129.26	7.16
San Pedro	0.55	0.9	0.61	109.47	6.21
Central La Providencia	0.58	0.82	0.71	103.70	5.93
Central Progreso	0.53	0.73	0.72	25.6	6.22
San Miguelito	0.74	0.88	0.84	20.15	6.3
El Molino	0.7	0.8	0.87	19.7	4.54

Ingenio	técnica global	Eficiencia		Elasticidad de escala	
		técnica pura	de escala	límite superior	límite inferior
San Francisco Ameca	0.72	0.91	0.79	19.24	7.84
El Mante	0.59	0.84	0.7	18.63	2.26
El Modelo	0.73	0.88	0.83	16.65	6.87
Cuatotolapam	0.68	0.88	0.77	15.43	3.59
Santa Clara	0.87	0.98	0.89	13.27	4.74
Central	0.74	0.83	0.89	12.12	3.11
Motzorongo					
San Nicolás	0.76	0.88	0.86	11.31	2.13
Presidente Benito Juárez	0.69	0.85	0.81	10.6	2.01
Alianza Popular	0.72	0.77	0.94	8.75	2.39
San Cristóbal	0.98	1	0.98	4.52	1.19
Mahuixtlán	0.72	0.87	0.83	3.05	1.78
Bellavista	0.79	0.92	0.86	2.95	1.74
La Joya	0.74	0.84	0.87	2.75	1.22
Tala	0.81	0.93	0.87	2.55	1.1
Pánuco	0.8	0.86	0.93	2.01	1.19
La Margarita	0.85	0.85	0.99	1.88	1.51
Queseria	0.95	0.96	0.99	1.19	0.91

A excepción de los ingenios Azsuremex, José María Morelos y San Cristóbal, los otros 25 ingenios azucareros del Cuadro 5 podrían mejorar también su eficiencia no solo a través de una ampliación de su planta, sino también al mejorar su eficiencia pura; es decir, la eficiencia que proviene de mejorar sus prácticas productivas, del manejo de los insumos y de alcanzar los acuerdos más convenientes en lo económico con las organizaciones de abastecedoras de caña de azúcar en el área, para garantizar el abasto en tiempo y forma durante el periodo de zafra respectivo.

Al analizar individualmente algunos de los ingenios del Cuadro 5, por el lado de la economía de escala, es posible observar que en el grupo de estas UDM algunos tienen una eficiencia de escala por abajo de 70%. Estos ingenios son Nuevo San Francisco, El Carmen, San Pedro, Santa Rosalía y El Refugio cuya eficiencia de escala fue de 54%, 58%, 61%, 62% y 64%, respectivamente. Si estos ingenios ampliaran el tamaño de su planta al aumentar todos sus insumos para la obtención de azúcar estándar su eficiencia global puede mejorar considerablemente.

La eficiencia global también podría mejorarse en este grupo de ingenios si se mejorara su eficiencia pura; es decir, la eficiencia derivada de la mejora en sus prácticas productivas. Por ejemplo, para los ingenios Central Progreso, Alianza Popular y El Refugio su eficiencia pura es de 73%, 77% y 78%, respectivamente. En estos ingenios si se mejoran sus prácticas productivas su eficiencia pura mejorara y por lo tanto su eficiencia global.

Se eligió la zafra 2016-2017 como punto de comparación por ser la última publicación del CONADESUCA (2017) en la que los datos de las variables de campo y molienda de los ingenios azucareros aparecen desagregados a nivel UDM. En el Cuadro 6 se muestran los tres ingenios que dejaron de operar entre las zafras 2009-2010 y 2016-2017.

Cuadro 6. Ingenios cerrados entre las zafras 2009-2010 y 2016-2017.

Ingenio	Técnica	Eficiencia técnica pura	de escala	Elasticidad de escala límite superior	límite inferior
Avance Regional	1	1	1	infinito	0
Los Mochis	1	1	1	infinito	0.66
Nuevo San Francisco	0.49	0.91	0.54	189.57	4.06

En el Cuadro 6 se puede observar que para la zafra 2009-2010 los ingenios Avance Regional y Los Mochis operaban en su escala óptima, pues su eficiencia global y eficiencia técnica pura son iguales a la unidad; es decir, estos UDM operaban en la referida zafra sobre la frontera eficiente de producción.

De acuerdo con los propios datos del CONADESUCA (2017) el ingenio Nuevo San Francisco dejó de producir y fue cerrado en 2012. No obstante, de acuerdo con información del microsítio web del propio ingenio, tras una serie de circunstancias en donde destaca la lucha del propio personal que laboraba en dicho ingenio antes de su cierre, dicho ingenio fue reabierto y reiniciado operaciones al inicio de 2021. Al comparar los resultados obtenidos con el DEA para la eficiencia técnica promedio por país, pues ningún estudio de los revisados reporta resultados a nivel UDM, se encontraron datos para tres países. En el caso de México se reportan dos estudios tal como se puede ver en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Eficiencia técnica y de escala de la agroindustria cañera de varios países.

Región	Eficiencia global	Eficiencia pura	Eficiencia de escala	Periodo de estudio o zafra	Orientación
Indonesia	0.899	0.937	0.96	2018	Input
Filipinas	0.7431	0.777	0.9582	2001	Input
México:					
Escenario 1	nd	nd	0.8895	2015/2016	Input
Escenario 2	nd	nd	0.9653	2015/2016	Input
México	0.8515	0.9382	0.9004	2009/2010	Input
Kenia	0.849	0.8995	0.9474	2011/2017	Output

Escenario 1= cosecha sin mecanizar; Escenario 2= cosecha mecanizada; nd= no disponible.

Para México, Escobedo *et al.* (2019) reporta la eficiencia de escala para la zafra 2015-2016 bajo dos escenarios: cosecha mecanizada y sin cosecha mecanizada. El criterio para considerar la cosecha como mecanizada fue la incorporación de una máquina cosechadora de caña de azúcar al segundo escenario. Los resultados del estudio de Escobedo *et al.* (2019) muestran que al incorporar una máquina cosechadora la eficiencia de escala pasó de 88.95% a 96.53%.

No obstante, debe tenerse en cuenta que el trabajo de Escobedo corresponde a la zafra 2015-2016 y la del presente trabajo a datos de la zafra 2009-2010. Al comparar la eficiencia de escala promedio de la agroindustria de la caña de azúcar de México contra la de Indonesia (Escobedo *et al.*, 2019; Setyaningrum, 2020) se observó que la de este último es mayor en 5.96%; es decir, hay una mayor eficiencia de la agroindustria azucarera de Indonesia que en la de México.

Lo mismo ocurre al comparar la eficiencia de escala de México del presente estudio contra la eficiencia de escala de Filipinas (Padilla y Nuthall, 2009); Kenia (Mulwa, 2009), la eficiencia de escala México es menor que la de los resultados citados en las respectivas fuentes. Adicionalmente, al comparar la eficiencia pura de México contra los otros países, se observa que México e Indonesia tienen en la práctica la misma eficiencia (93%) mientras que tal eficiencia

de México está por arriba de Filipinas y Kenia, cuya eficiencia pura es de 74.3% y 84.9%, respectivamente.

Conclusiones

México es un país autosuficiente en la producción de azúcar granulada para satisfacer su demanda interna; no obstante, el atraso tecnológico que aún documentos oficiales y muchos estudios académicos, afirman, tiene la agroindustria de caña de azúcar en México. Se encontró que durante la zafra 2009-2010 de los 53 ingenios azucareros que se incluyeron en el estudio 21 (38.9%) presentaron rendimientos constantes a escala por lo que los mismos estaban trabajando de manera óptima con el tamaño de planta que en ese momento tenían.

Otros 28 ingenios (51.9%) estaban operando con rendimientos crecientes a escala, por lo que de haber ampliado el tamaño de su planta su producción se habría incrementado más que proporcionalmente de lo que se habrían incrementado todos los insumos juntos y a un mismo tiempo. Además, se encontró que solo cinco ingenios azucareros operaban con rendimientos decrecientes a escala (9.3%), es decir que, aunque hubiesen ampliado el tamaño de planta y mejorado sus prácticas y procesos productivos su eficiencia de escala, eficiencia pura y eficiencia global habrían mejorado muy poco o incluso podrían haber incrementado sus deseconomías de escala e ineficiencia.

Dicho de otra manera, hasta hace poco más de una década había espacio para la mejora de la productividad y eficiencia de la agroindustria de la caña de azúcar. El hecho de que el país venga observando la autosuficiencia de azúcar granulada desde hace más de una década y aún con excedentes para exportación es indicativo de que a pesar de su reiterado atraso tecnológico puede no ser tal, sino que la problemática económica, social, institucional y de otra índole que vive el campo mexicano puede estar afectando el desempeño óptimo de la agroindustria de la caña de azúcar en México.

Bibliografía

- 1 Aigner, D.; Lovell, K. and Schmidt, P. 1977. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *J. Econ.* 6(1):21-37.
- 2 Banker, R. D.; Charnes, A. and Cooper, W. W. 1984. Some models for the estimation of technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Manage. Sci.* 30(9):1078-1092.
- 3 Bogetoft, P. 2020. Benchmarking with DEA and SFA. R package version 0.29. <https://cran.r-project.org/web/packages/Benchmarking/index.html> .
- 4 Bröchner, J. 2017. Measuring the productivity of facilities management. *J. Facil. Manag.* 15(3):1-35.
- 5 CEMA. 2017. Compañía editora del manual azucarero mexicano. Manual azucarero mexicano. Ed. SA de CV. Ciudad de México. 487 p.
- 6 Charnes, A.; Cooper W. W.; Lewin, A. Y. and Seiford, L. M. 1994. Data envelopment analysis. Theory, methodology, and application. Springer. New York, NY. 507 p.
- 7 Charnes, A.; Cooper, W. W. and Rhodes, E. L. 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *Eur. J. Oper. Res.* 2(6):429-444.
- 8 CONADESUCA. 2017. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. 6^{to} informe estadístico del sector agroindustrial de la caña de azúcar en México. Ciudad de México.
- 9 CONADESUCA. 2020b. Comité Nacional para el Desarrollo sustentable de la Caña de Azúcar (2020). 7^{mo} informe estadístico del sector agroindustrial de la caña de azúcar en México. Ciudad de México, México.

- 10 Escobedo, C. O. A.; Valdivia, A. R.; Sandoval, R. F.; Hernández, O. J. y Gutiérrez, G. F. G. 2019. Análisis de la eficiencia técnica de la agroindustria de la caña de azúcar en México con el análisis envolvente de datos. *Rev. Mex. Econ. Agríc. Rec. Natur.* 12(1):77-91.
- 11 Farrell, M. J. 1957. The Measurement of productive efficiency. *J. R Stat. Soc.* 120(3):253-290.
- 12 FIRA. 2016. Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura. Panorama agroalimentario. Azúcar. Morelia, Michoacán, México.
- 13 Førsund, F. R. and Hjalmarsson, L. 2004. Calculating scale elasticity in DEA models. *J. Oper. Res. Soc.* 55(10):1023-1038.
- 14 Førsund, F. R.; Hjalmarsson, L.; Krivonozhko, V. E. and Utkin, O. B. 2007. Calculation of scale elasticities in DEA models: direct and indirect approaches. *J. Prod. Anal.* 28(1):45-56.
- 15 Hackman, S. T. 2008. *Production economics. Integrating the microeconomic and engineering perspectives.* Springer. Berlin, Germany. 522 p.
- 16 Meeusen, W. and Van-Broeck, J. 1977. Efficiency estimations from Cobb-Douglas production functions with composed error. *Inter. Econ. Review.* 18(2): 435-44.
- 17 Mulwa, M. R.; Emrouznejad, A. and Murithi, F. M. 2009. Impact of liberation on efficiency and productivity of sugar industry in Kenya. *J. Econ. Studies.* 36(3):250-264.
- 18 Padilla, F. M. D. and Nuthall, P. L. 2009. Technical efficiency in the production of sugar cane in central negros area, philippines: an application of data envelopment analysis. *J. Int. Soc. Southeast Asian Agric. Sci.* 15(1):77-90.
- 19 Rasmussen, S. 2011. *Production economics. The basic theory of production optimization.* Springer, New York, NY. 287 p.
- 20 Rein, P. 2007. *Cane sugar engineering.* Verlag Dr. Albert Bartens. Berlin, Germany. 746 p.
- 21 Setyaningrum, W F.; Ekowati, T. and Kristanto, A. 2020. The efficiency of sugarcane (*Saccharum officinarum*) farms using the dea (data envelopment analysis) approach in purworejo regency. *Agrisociconomics.* 4(2):330-335.
- 22 Santiago, Z. I. M.; Martínez, D. M. A.; Cuevas, A. C. M.; Valdivia, A. R.; García, H. M. I. y Hernández, T. J. 2021. Productividad y cambio tecnológico en la agroindustria de la caña de azúcar en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 12(6):1005-1017. Doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2692> .
- 23 SIAP. 2020. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> .
- 24 Valdivia, A. R.; Cuevas, A. C. M.; Vázquez, M. J. S.; García, H. M. I.; Santiago, Z. I. M. y Garay, J. A. S. 2022. Análisis de la eficiencia y retornos de escala de los ingenios azucareros de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 13(1):141-153. Doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i1.2639> .
- 25 Zhu, J. 2003. *Quantitative models for performance evaluation and benchmarking: data envelopment analysis with spreadsheets and DEA Excel solver.* Kluwer Academic Publisher. Boston, USA. 312 p.

Eficiencia técnica y economías de escala de los ingenios azucareros en México

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 May 2023
Date accepted: 01 July 2023
Publication date: 20 July 2023
Publication date: July 2023
Volume: 14
Issue: 5
Pages: 14-26
DOI: 10.29312/remexca.v14i5.2999

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

agroindustria de la caña de azúcar
deseconomías de escala
orientación al insumo
retornos a escala.

Counts

Figures: 0

Tables: 7

Equations: 37

References: 25

Pages: 13