

## Evaluación del rendimiento agroindustrial del azúcar de los ingenios azucareros de México

---

Fermín Sandoval-Romero<sup>1</sup>

Cristóbal Martín Cuevas-Alvarado<sup>2</sup>

Blanca Margarita Montiel-Batalla<sup>3</sup>

J. Reyes Altamirano-Cárdenas<sup>4,§</sup>

1 División de Ciencias Administrativas-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México- Texcoco km 38.5. Chapingo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. Tel. 595 9521500, ext. 1668. (fsandoval.romero@gmail.com).

2 Consultor/Investigador Independiente. Calle Arboledas 28, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56264. Tel. 595 9211492. (cuevas-cristobal@hotmail.com).

3 Instituto de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma de Baja California. Carretera a Delta s/n, Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California. CP. 21705. Tel. 686 5230088, ext. 45936. (blanca.montiel@uabc.edu.mx).

4 Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial-Universidad Autónoma Chapingo Carretera México- Texcoco km 38.5, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. Tel. 595 9521613.

Autor para correspondencia: jreyesa@ciestaam.edu.mx.

---

### Resumen

En México la caña de azúcar es importante para garantizar la suficiencia alimentaria del azúcar estándar. En el presente trabajo se tuvo como objetivo evaluar la ineficiencia técnica del rendimiento agroindustrial de azúcar de los ingenios azucareros de México para la zafra 2022-2023 para poder identificar aquellas unidades de producción cañera más ineficientes. El modelo que utilizó fue el enfoque de análisis de frontera estocástica. Los resultados arrojaron que, de los 39 ingenios analizados, un grupo de seis ingenios mostraron el desempeño más bajo en su indicador de rendimiento agroindustrial de azúcar estándar en la zafra de estudio. Estos ingenios azucareros y su respectiva eficiencia fueron: Puga (89.3%), Alianza Popular (88.9%), Plan de San Luis (88.5%), Plan de Ayala (88.3%), Progreso (85.6%) y El Mante (84.9%). La ineficiencia técnica de estas seis unidades de producción es mayor al 10% y se debe a una inadecuada gestión y malas prácticas productivas y no a variables aleatorias como el clima. La principal conclusión de la investigación es que el 88.3% de la ineficiencia técnica relativa en el rendimiento agroindustrial de azúcar por unidad de superficie es atribuible a causas del entorno interno de tales empresas y solo el 11.7% a factores aleatorios ajenos a los ingenios azucareros.

### Palabras clave:

azúcar por hectárea, error compuesto, ineficiencia técnica, sacarosa en caña.

---

## Introducción

De acuerdo con el INEGI (2021) en el sistema de clasificación industrial de América del Norte (SCIAN) se estipula que la industria del azúcar integra las actividades de elaboración de azúcar de caña y la elaboración de otros azúcares. La elaboración de azúcar de caña se compone, de esta manera, de dos eslabones principales.

El primero es el que va desde las actividades de campo hasta la puesta en batey de la materia prima para la elaboración del azúcar estándar. El segundo eslabón se compone de las actividades de molienda de caña hasta la obtención del edulcorante *per se*, que es azúcar estándar (AMS, 2024). La agroindustria de la caña de azúcar tiene presencia en 22 entidades federativas y reviste gran importancia por varios preceptos económicos (CONADESUCA, 2023).

En el país la importancia que tiene la industria del azúcar es relevante en términos de empleo directo e indirecto. La CNIAA citada por SE (2014) señala que, en la industria azucarera, los empleos directos generados en 56 ingenios que operaron en la zafra 2008-2009 fueron 448 894.

De acuerdo con el SIAP (2024) en el año de 2023 la caña participó con el 5.8% (\$52.90 millones) del valor de la producción agrícola, tan solo por debajo del maíz grano que se ubicó en primer lugar con el 19% (\$172.40 mil millones) y del aguacate que se situó en con \$60.10 mil millones (6.6%) (SIAP, 2024). Por otro lado, en México a partir de la administración federal de 1988-1994 se ha dado un proceso de consolidación de la agroindustria de la caña de azúcar que se ha reflejado en el cierre de las plantas físicas y su concentración en 11 grupos (CNIAA, 2024).

En 1988 operaban 65 ingenios mientras en la zafra 2023-2024 lo hicieron solo 49 ingenios. De esta manera, en 36 años han cerrado 16 ingenios azucareros; es decir, el 25.6% de la planta productiva (Haley, 2000; CNIAA, 2024).

Los problemas financieros, la competencia extranjera, los cambios en políticas gubernamentales, los conflictos laborales, las condiciones climáticas adversas y la falta de inversión en tecnología y modernización han sido las principales causas que han llevado al cierre de estos ingenios (CEFP, 2001; Campos y Oviedo, 2013; INEGI, 2021).

El cierre de operación de los ingenios azucareros es un proceso en que los mismos empiezan a verse afectados por causas específicas que finalmente los lleva al descenso su productividad y eficiencias que finalmente los llevo a ser inviables tanto en lo técnico como en lo económico y finalmente a salir de la agroindustria de la caña de azúcar (Haley, 2000; SE, 2012).

La revisión de literatura no arrojó investigaciones en México que analicen el cierre de los ingenios azucareros por causa de su ineficiencia técnica, de costos o asignativa, utilizando el enfoque paramétrico de la frontera estocástica. No obstante, si existen algunos estudios que han determinado la eficiencia técnica, el cambio tecnológico y las economías de escala de los ingenios azucareros. Santiago *et al.* (2021) determinaron la eficiencia técnica y el cambio tecnológico a nivel de ingenio azucarero utilizando el índice de Malmquist y en sus resultados encontraron que en el periodo de zafra 2006-2007 y 2015-2016 para el ingenio de San Miguel del Naranjo su ineficiencia se incrementó en 10.2%.

En diferentes lugares del mundo se ha analizado la eficiencia técnica, entre los que se pueden mencionar África (Onour, 2017), la India y Brasil. En este marco, el objetivo de esta investigación fue evaluar la ineficiencia técnica del rendimiento agroindustrial de azúcar de los ingenios azucareros de la agroindustria cañera de México para la zafra 2022-2023 para poder identificar aquellas unidades de producción cañera más ineficientes. Se parte de la hipótesis que la ineficiencia de la agroindustria cañera será explicada en su mayor parte por causas que están bajo el control de la gestión del respectivo ingenio.

## Materiales y métodos

Para la realización del trabajo utilizó información de fuentes secundarias y de registros administrativos. La principal fuente de información estadística para el periodo de estudio lo

constituyó el informe estadístico sobre la agroindustria de la caña de azúcar de la Unión Nacional de Cañeros (UNC-CNPR 2023). Las variables que se utilizaron para la estimación del modelo empírico son las definidas en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Variables utilizadas en el modelo empírico de la ineficiencia técnica del rendimiento agroindustrial de los ingenios azucareros en México.**

Variable	Descripción	Unidades
<i>reagaz</i>	Rendimiento agroindustrial de azúcar producida por hectárea	(t ha <sup>-1</sup> )
<i>spind</i>	Superficie industrializada de caña de azúcar	(ha)
<i>sacan</i>	Contenido de sacarosa en caña	(t ha <sup>-1</sup> )
<i>wcto</i>	Costo de producción ponderado de caña de azúcar	(\$ ha <sup>-1</sup> )

Respecto a las variables es necesario comentar que el rendimiento agroindustrial de azúcar base estándar por hectárea, es un concepto definido en CONADESUCA (2023) como las toneladas de azúcar total entre las hectáreas de superficie industrializada, las cuales son, las hectáreas de superficie de caña industrializada del respectivo ingenio.

El costo de producción ponderado de caña de azúcar de la zafra 2022-2023, se estimó como un promedio del costo de producir una hectárea de caña de azúcar en la fase de plantilla, soca y resoca donde el costo de cada fase se ponderaba por la respectiva superficie, ya fuera de riego o de temporal. La información para estimar dicho costo se encuentra en el micrositio llamado Si-costos del CONADESUCA (2024).

El método que se utilizó para estimar la eficiencia técnica de los ingenios azucareros es el modelo de frontera estocástica desarrollado independientemente por Meeusen y Van den Broeck (1977); Aigner *et al.* (1977). En econometría la función de producción de frontera estocástica se utiliza para estimar la ineficiencia de las unidades de producción utilizando conceptos de la teoría de la economía de la producción y de procesos estocásticos para separar los choques aleatorios de la ineficiencia en el proceso de producción (Kumbhakar y Wang, 2015).

De acuerdo con Kumbhakar y Wang (2015) la expresión matemática general de la función de producción de frontera estocástica para datos de sección cruzada tiene la siguiente forma:

$$Y_i = f(X_i; \beta) \exp(v_i - u_i)$$

1). O en su forma logarítmica:

$$\ln Y_i = \ln f(X_i; \beta) + (v_i - u_i)$$

2). Donde:  $Y_i$ = output (producción) de la  $i$ -ésima unidad de producción;  $X_i$ = vector de inputs (insumos) para la  $i$ -ésima unidad de producción;  $\beta$ = vector de parámetros a ser estimados;  $\epsilon_i$ = término de error aleatorio que captura el ruido estadístico;  $u_i$ = variable aleatoria no negativa que representa la ineficiencia técnica;  $\ln$ = logaritmo natural;  $\exp()$ = función exponencial.

Como se observa, en las expresiones anteriores el término  $(v_i - u_i)$  es un error compuesto. Donde:  $\epsilon_i$ = término de error aleatorio que explica los choques aleatorios, los errores de medición y algún otro ruido estadístico siendo común asumir que el error estadístico se distribuye con media cero y varianza constante.

$$(v_i \sim N(0, \sigma^2))$$

Respecto a  $u_i$  se tiene que este término de error captura la ineficiencia de la unidad de producción y es no negativo ( $u_i \geq 0$ ) y es común asumir que sigue una distribución semi-normal, una exponencial o una distribución normal truncada, entre otras (Meeusen y Van den Broeck, 1977; Aigner *et al.*, 1977).

Los parámetros de la función de producción de frontera estocástica; es decir,  $\beta$  y  $\sigma_v^2$  son los parámetros que gobiernan la distribución de  $u_i$  en la práctica, estimados usando máxima verosimilitud lo cual implica maximizar la función de verosimilitud basada en la distribución conjunta del término de error compuesto  $((i-u_i))$  (Greene, 2008). Una vez que se han estimado el vector de parámetros  $\beta$  la eficiencia técnica de la  $i$ -ésima unidad de producción ( $TE_i$ ) se estima a partir de la siguiente expresión:

$$TE_i = E[\exp(u_i) | v_i] = \exp(-\mu_{*i} + \frac{1}{2} \sigma_{*i}^2) \frac{\Phi(\frac{\mu_{*i}}{\sigma_{*i}} - \sigma_{*i})}{\Phi(\frac{\mu_{*i}}{\sigma_{*i}})}$$

3). Donde:  $\Phi()$ = función de distribución acumulada de la distribución normal estándar (Jondrow *et al.*, 1982);  $TE_i$ = varía en el rango; donde un valor igual a la unidad indica eficiencia completa (ninguna ineficiencia) y un valor menor que la unidad indica la presencia de ineficiencia.

Una ventaja del análisis de frontera estocástica es que ayuda a separar la ineficiencia técnica debido a causas provenientes de la gestión de la empresa o unidad productiva y aquella asociada a choques puramente aleatorios. Las causas de ineficiencia técnica no estocástica en empresas o sectores económicos pueden deberse a varias causas. Las causas internas de ineficiencia técnica pueden ser la mala gestión de unidad de producción debido a la falta de habilidades gerenciales o decisiones incorrectas, inadecuada capacitación del personal, tecnología obsoleta, fallas en el mantenimiento del equipo físico e infraestructura, una mala organización del trabajo y la falta de coordinación entre diferentes unidades o departamentos.

Las causas externas que causan ineficiencia técnica son las condiciones del mercado, regulaciones y políticas gubernamentales, acceso limitado a financiamiento, condiciones climáticas adversas e infraestructura deficiente (transporte y comunicaciones). En el caso de los factores estocásticos que causan ineficiencia técnica en las unidades de producción se tienen eventos impredecibles como desastres naturales, fallas mecánicas imprevistas o cambios súbitos en el entorno económico pueden causar ineficiencia.

Una fuente importante de ineficiencia técnica tiene que ver con la cultura organizacional de las unidades de producción. Por ejemplo, las organizaciones pueden ser reacias a cambiar sus métodos de operación o adoptar nuevas tecnologías por lo que pueden quedar rezagadas en términos de eficiencia y motivación del personal (baja moral o falta de incentivos adecuados para los trabajadores de una unidad puede reducir su productividad y eficiencia) (Aguilar *et al.*, 2011).

El modelo empírico que se utilizó para estimar la ineficiencia del rendimiento agroindustrial de las unidades de producción de la agroindustria cañera mexicana es una función de producción de frontera estocástica cuya forma funcional es del tipo Cobb-Douglas que, al aplicarle logaritmos en sus lados izquierdo y derecho, toma la forma de un modelo logarítmico-lineal; es decir, una forma donde los parámetros a estimar son lineales. Al seguir la convención de que las variables en minúsculas denotan el logaritmo de dicha variable, la expresión matemática del modelo empírico tiene la siguiente forma lineal:

$$\text{reagaz} = \beta_0 + \beta_1 \text{spind} + \beta_2 \text{sacan} + \beta_3 \text{wcto} + (v_i - u_i)$$

4). Donde: reagaz, spind, sacan y wcto son las variables definidas en el Cuadro 1 y  $((i-u_i))$  es el término de error compuesto en el cual  $(i)$  es el error estadístico con las propiedades que ya se han mencionado en los párrafos precedentes, mientras que  $u_i$  es el error que tiene una distribución seminormal y refleja las ineficiencias presentes en las unidades de producción respecto al rendimiento agroindustrial de azúcar estándar.

Ambos errores son independientes uno del otro. Respecto a los signos esperados se espera una relación inversa entre el rendimiento agroindustrial y las variables de superficie industrializada de caña, y el costo de producción ponderado. Adicionalmente, es de esperar una relación directa entre el rendimiento agroindustrial y el contenido de sacarosa en la caña de azúcar.

Por otro lado, antes de proceder al análisis de los resultados es necesario hacer precisiones respecto a la definición de las variables utilizadas en la investigación. El concepto de rendimiento agroindustrial del azúcar se define en CONADESUCA (2023), como el azúcar total producido por unidad de producción entre la superficie de caña industrializada.

En consultas con los especialistas sobre que variable podría explicar de manera satisfactoria el rendimiento agroindustrial de azúcar se esperaba que fuera el 'parámetro' denominado 'kilos de azúcar recuperable base estándar' o karbe; no obstante, en multitud de corridas del modelo empírico esta variable resulto ser en todos los casos estadísticamente no significativa y con el signo contrario al esperado; es decir, en lugar de una relación directa del karbe con el rendimiento agroindustrial de azúcar se obtenía una relación inversa.

En el caso de la variable contenido de sacarosa en caña resulto ser estadísticamente significativa y con una relación directa con el rendimiento agroindustrial. La estimación del modelo empírico se realizó con el paquete de R-frontier 4.1 (Coelli y Henningsen, 2020). El paquete 'frontier' es la programación en lenguaje R del software de Coelli (1996).

## Resultados y discusión

Una vez que se identificaron las variables que mejor ajustaban el modelo empírico y cuyos parámetros individuales resultaran ser estadísticamente significativos como variables explicativas, se procedió a la estimación de tal modelo. Los resultados econométricos estimados, mediante máxima verosimilitud de la de la función de producción de frontera estocástica del rendimiento agroindustrial de azúcar de los ingenios azucareros de México, se muestran en el Cuadro 2.

**Cuadro 2. Parámetros estimados de la función de producción de frontera estocástica del rendimiento agroindustrial de azúcar.**

Parámetro	Valor estimado	Error estándar	Valor de z	Pr >  z
Intercepto	2.5958232	0.3853959	6.7355	0
spind	-0.8222068	0.0305038	-26.9542	0
sacan	0.7895521	0.0300981	26.2326	0
wcto	-0.0330033	0.0651852	-0.5063	0.612545
$\sigma_v^2$	0.0073742	0.0040585	1.8169	0.069226
$\sigma_u^2$	0.8321788	0.2952273	2.8188	0.004821

En la salida de 'R frontier 4.1' a  $\sigma_u^2$  se le denomina 'gama'.

Como se observó en el Cuadro 2 los signos esperados son los correctos. El estadístico t muestra que la superficie industrializada (spind) y la sacarosa en caña (sacan) son altamente significativos con un valor de -26.9542 y 26.2326 respectivamente. No obstante, el valor de t asociado al costo de producción ponderado (wcto) no tiene significancia estadística en ninguno de los niveles de confianza usuales, pero se conserva dado que tiene el signo correcto.

De esta manera se analizó una relación inversa entre el rendimiento agroindustrial de azúcar por hectárea con la superficie industrializada y el costo de producción ponderado de caña de azúcar. De manera análoga, hay una relación directa entre el rendimiento agroindustrial y el contenido de sacarosa en caña. Adicionalmente, como se puede ver en la última hilera del Cuadro, se tiene que el valor estimado de  $\sigma_u^2$  (gama) es 0.8829, lo cual implica que el 88.3% de la varianza es explicada por la ineficiencia técnica y el resto (11.7%) de la varianza es explicado por factores aleatorios.

De acuerdo con Schmidt y Campión (2006) cuando  $\sigma_u^2$  (gama) es cero, la frontera eficiente estimada mediante máxima verosimilitud coincide con la frontera estimada mediante mínimos

cuadrados ordinarios y el término de error es totalmente estocástico. Por otro lado, para probar la hipótesis nula de que todos los parámetros son no significativamente distintos de cero se utiliza la prueba estadística de razón de verosimilitud generalizada (LR), que sigue una distribución asintóticamente distribuida de  $\chi^2$ .

En el contexto del modelo de la frontera estocástica esto implica comparar el modelo sin ineficiencia técnica; es decir aquel estimado mediante mínimos cuadrados ordinarios, contra el llamado modelo de frontera de componentes de error (ECF) (Coelli, 1995) y que se estima mediante máxima verosimilitud (Coelli y Battese 1995). El paquete R-frontier 4.1 proporciona directamente la razón de verosimilitud generalizada y la prueba de contraste se realizó como se muestra en el Cuadro 3.

**Cuadro 3 Prueba de hipótesis del modelo de ineficiencia de frontera estocástica**

Hipótesis	Modelo	Razón de verosimilitud generalizada	Grados de libertad	# <sup>2</sup>	Pr(> $\chi^2$ )
-----------	--------	-------------------------------------	--------------------	----------------	-----------------

H <sub>0</sub>	No ineficiencia (MCO)	72.6			
H <sub>a</sub>	Frontera de componentes de error (ineficiencia)	75.258	1	5.3162	0.01056*

\* = significativo al 99%; MCO= mínimos cuadrados ordinarios.

Como se percibió el valor absoluto de la razón de la razón de verosimilitud generalizada es de 75.258 lo que indica que con el nivel de confianza del 99% se rechaza la hipótesis nula de que no existió la presencia de ineficiencia en la producción de azúcar estándar por unidad de superficie de los ingenios azucareros de México en la zafra 2022-2023.

Ahora bien, la eficiencia técnica estimada del rendimiento agroindustrial de azúcar para los 39 ingenios azucareros para los que se contó con información estadística de costos completa para la zafra 2022-2023 se muestran en el Cuadro 4.

**Cuadro 4. Eficiencia técnica de los ingenios azucareros de México en la zafra 2022-2023.**

	Ingenio azucarero	Eficiencia técnica (%)		Ingenio azucarero	Eficiencia técnica (%)
1	Huixtla	98.6	21	La Providencia	94.8
2	El Modelo	98.3	22	Tres Valles	94.6
3	San Pedro	97.7	23	Casasano	94.3
4	Eldorado	97.6	24	Bellavista	93.4
5	Tala	97.3	25	Constancia	93.1
6	La Gloria	97.3	26	Santa Clara	92.8
7	Benito Juárez	97.3	27	El Potrero	92.1
8	El Carmen	97.1	28	Quesería	92
9	Atencingo	97	29	Emiliano Zapata	92
10	El Higo	97	30	Lázaro Cárdenas	92
11	Melchor Ocampo	96.9	31	Pedernales	92
12	San Nicolás	96.7	32	Cuatotolapan	91.3
13	Pujilic	96.5	33	La Margarita	90.3
14	Mahuixtlán	96.5	34	Puga	89.3
15	San Cristóbal	96.2	35	Alianza Popular	88.9
16	Tamazula	95.8	36	Plan de San Luis	88.5
17	José María Morelos	95.8	37	Plan de Ayala	88.3

Ingenio azucarero		Eficiencia técnica (%)	Ingenio azucarero		Eficiencia técnica (%)
18	Zapoapita	95.5	38	Progreso	85.6
19	Santa Rosalía	95.4	39	El Mante	84.9
20	San Rafael	95.3	40	Agroindustria cañera	94

Con base en la salida del R-frontier 4.1.

De esta manera, se ha encontrado que la eficiencia técnica promedio del rendimiento agroindustrial de azúcar de la agroindustria cañera de México fue de 94% por lo que existe una ineficiencia de 6% en la misma. De esta forma, de 39 ingenios azucareros evaluados con el enfoque de frontera estocástica, dos de ellos presentan la mayor eficiencia técnica los cuales son el Huixtla y El Modelo con una eficiencia técnica del 98.6% y 98.3% respectivamente, por lo que puede considerarse que su ineficiencia técnica es poco relevante en su rendimiento agroindustrial de azúcar estándar.

Un segundo grupo con una eficiencia técnica mayor al 95% y menor al 98% comprende a 18 ingenios. Un tercer grupo con una eficiencia entre el 90% y 95% comprende a 13 ingenios los cuales presentan por lo tanto cierta ineficiencia en su indicador de rendimiento agroindustrial. Un cuarto grupo es aquel cuya eficiencia es menor al 90% e incluye a seis ingenios que son los ingenios Puga (89.3%), Alianza Popular (88.9%), Plan de San Luis (88.5%), Plan de Ayala (88.3%), El Progreso (85.6%) y El Mante (84.9).

Es posible aseverar que la alta ineficiencia técnica del indicador de azúcar estándar por unidad de superficie (es decir, el rendimiento agroindustrial de azúcar) puede comprometer la viabilidad de dichas unidades de producción. A manera de ejemplo, el caso del ingenio azucarero El Mante cuya eficiencia es menor al 90% por lo que su situación puede considerarse como crítica pues su ineficiencia técnica es mayor del 10%. Como se observa, estos dos ingenios son El Mante, con una ineficiencia del 11.4% y el Carmen con una ineficiencia técnica del 15.1%.

Es importante mencionar que en los últimos años tanto el ingenio El Mante como El Carmen han tenido problemas de gestión y liquides. El Mante lleva más 30 años de problemas, pues para su privatización en 1988 se declaró en quiebra de forma irregular por lo que desde entonces hay un movimiento de ex cooperativistas que exige la anulación de la referida quiebra. Los problemas de El Mante se incrementaron a partir de la zafra 2012-2013 cuando se dio una baja en el precio del azúcar que repercutió en el precio pagado por la materia prima que es la caña de azúcar.

El Mante inició una nueva administración en 2020 bajo la dirección del Grupo Pantaleón originario de Guatemala. En años anteriores la gestión de dicho ingenio estuvo ejercida por el grupo Sáenz que es señalado por haber realizado un mal manejo de dicha unidad de producción (Expreso.press, 2015). En el caso de El Carmen han existido problemas financieros y de liquides desde hace varios años para su modernización como para satisfacer las demandas laborales de los sus trabajadores como de sus abastecedores.

De esta manera es posible que la ineficiencia técnica de ambos ingenios pueda tener sus orígenes en esta y alguna otra clase de problemática; por ejemplo, de tipo organizacional. El enfoque de la frontera estocástica para evaluar el desempeño de las unidades productivas a través de su eficiencia técnica relativa ha sido aplicado a una amplia variedad sectores económicos. En el caso de la agricultura y en particular en la agroindustria cañera, el modelo de la frontera estocástica, hasta donde se sabe, no ha sido aplicado en México.

Un problema con los trabajos que se revisaron de otros países es que la estimación de la ineficiencia en la mayoría de los casos se refiere a unidades de producción familiares o de pequeños y medianos productores de caña, pero no a los ingenios azucareros pues la información de los éstos no registrada como ocurre en el caso de México a nivel de ingenio y menos la gran cantidad de variables que se incluyen; por ejemplo, en UNC-CNPR (2023).

Este problema ocurre; por ejemplo, en Murali y Puthira (2016) que es una investigación realizada para la India. Este país es el segundo productor mundial de caña de azúcar. En la investigación

se utilizó una muestra aleatoria de 198 unidades de producción de Tamil Nadul y se estimó económicamente una eficiencia técnica promedio de 82% utilizando la frontera estocástica.

Esta eficiencia promedio es para las unidades de producción cañera a nivel productor, pero no a la agroindustria conformada por todos sus ingenios azucareros de tal país. De esta manera, los resultados del presente estudio son a nivel de ingenio azucarero por lo que los resultados de otros estudios son, en todo caso comparables al ser resultados para pequeños y medianos productores.

## Conclusiones

La evaluación del rendimiento agroindustrial de azúcar estándar de los ingenios azucareros con el modelo de la función de producción de frontera estocástica permitió determinar que entre estas unidades de producción el 88.3% de la ineficiencia técnica relativa en el rendimiento agroindustrial de azúcar por unidad de superficie es atribuible a causas del entorno interno de tales empresas y solo el 11.7% a factores aleatorios ajenos a los ingenios azucareros.

La ineficiencia técnica promedio de la agroindustria cañera fue del 3.9%. El análisis permitió encontrar que los ingenios El Higo y Huixtla son, en términos relativos, los más eficientes en cuanto al rendimiento agroindustrial de azúcar pues su eficiencia fue del 99.3%, lo que indica, que en la práctica en ambos ingenios no enfrentan ningún tipo de ineficiencia atribuible a la gestión de ambas unidades de producción.

No obstante, se identificaron dos ingenios cuya ineficiencia técnica del rendimiento agroindustrial de azúcar es alta. Estos fueron El Mante y El Carmen con una eficiencia técnica de 88.6% y 84.9%, respectivamente. La alta ineficiencia técnica de estos dos ingenios al menos en su rendimiento agroindustrial de azúcar estándar incrementa el riesgo que puede comprometer su viabilidad para que sigan operando.

## Bibliografía

- 1 Aguilar-Rivera, N.; Galindo-Mendoza, G.; Fortanelli-Martínez, J. y Contreras-Servín, C. 2011. Factores de competitividad de la agroindustria de la caña de azúcar en México. Región y Sociedad. 23(52):267-297. <https://www.scielo.org.mx/pdf/regsoc/v23n52/v23n52a9.pdf>
- 2 AMS. 2024. Agricultural Marketing Resource Center. Sugarcane profile. <https://www.agmrc.org/commodities-products/grains-oilseeds/sugarcane-profile>.
- 3 Aigner, D. J.; Lovell, C. A. K. and Schmidt, P. 1977. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. Journal of Econometrics. 6(1):21-37. Doi: 10.1016/0304-4076(77)90052-5
- 4 Campos-Ortiz, F. y Oviedo-Pacheco, M. 2013. Estudio sobre la competitividad de la industria azucarera en México. Banco de México. 2-4 pp. <https://www.banxico.org.mx/publicacionesyprensa/documentosdeinvestigaciondelbancodemexico/%7BA0F27C41-DD33-0E6B-E650-AC14F6156941%7D.pdf>.
- 5 CEFPE. 2001. Centro de Estudios de las Finanzas Públicas. La agroindustria azucarera en México. Cámara de Diputados. 5-10 pp. <https://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0392001.pdf>.
- 6 Coelli, T. J. and Henningsen, A. 2020. frontier: stochastic frontier analysis. R package version 1. 1-8 pp. <https://CRAN.R-Project.org/package=frontier>.
- 7 Coelli, T. J. 1996. A guide to frontier version 4.1: a computer program for stochastic frontier production and cost function estimation. CEPA Working Paper 96/08. 2-5 pp. <https://economics.uq.edu.au/cepa/software>.
- 8 Coelli, T. J. and Battese, G. E. 1995. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. Empirical Economics. 20(2):325-332. Doi: 10.1007/bf01205442.

- 9 Coelli, T. J. 1995. Estimators and hypothesis tests for a stochastic frontier function: a Monte Carlo analysis. *The Journal of Productivity Analysis*. 6(1):247-268. Doi: 10.1007/bf01076978.
- 10 CNIAA. 2024. Cámara Nacional de la Industria Azucarera y Azucarera. Manual azucarero mexicano. Compañía Ed. Manual Azucarero. 117-387 pp. <https://www.manualazucarero.com>.
- 11 CONADESUCA. 2024. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. Sistema de información de costos de producción de caña de azúcar. Estructuras de costos. <https://www.siiba.conadesuca.gob.mx/SiCostosSustentabilidad/ConsultaPublica/ConsultaPublicaRegiones.aspx?app=costos>.
- 12 CONADESUCA. 2023. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. 10º Informe estadístico del sector agroindustrial de la caña de azúcar en México, zafras 2013-2014/2022-2023. Ciudad de México, México. 13-18 pp. <https://www.siiba.conadesuca.gob.mx/siica/docect/10mo-Informe-Estadistico.pdf>.
- 13 Expreso. 2015. Ingenio de Mante; robo “en familia”. <https://expreso.press/2015/07/05/ingenio-de-mante-robo-en-familia/>.
- 14 Greene, W. H. 2008. The econometric approach to efficiency analysis. *In: the measurement of productive efficiency and productivity growth*, Harold O. Fried, C. A. Knox Lovell and Shelton S. Schmidt Ed. 92-250. New York: Oxford University Press Inc.
- 15 Haley, S. 2000. Returns from Mexican sugar processing: measuring the contribution of capacity usage, technological adaption, and output prices. United states department of agriculture. 5-17 pp. <https://www.ers.usda.gov/media/cw2h41xw/returns-from-mexican-sugar-processingspdf>.
- 16 INEGI. 2021. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censos económicos. La Industria azucarera. 15-66 pp. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod-serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva-estruc/889463902027.pdf>.
- 17 Jondrow, J.; Lovell, C. A. K.; Materov, I. S and Schmidt, P. 1982. On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production model. *Journal of Econometric*. 19(2-3):233-238. Doi: 10.1016/0304-4076(82)90004-5.
- 18 Meeusen, W. and Den-Broeck, J. 1977. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International Economic Review*. 18(2):435-444. Doi: 10.2307/2525757.
- 19 Murali, P. and Puthira, P. D. 2017. Technical efficiency of sugarcane farms: an econometric analysis. *Sugar Tech*. 9(2):109-116. Doi: 10.1007/s12355-016-0456-8.
- 20 Onour, I. 2017. Technical efficiency of sugar industry in Sudan: stochastic frontier approach. Available at Social Science Research Network (SSRN): 2-11 pp. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3049059>.
- 21 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. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 12(6):1005-17. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2692>.
- 22 Schmidt, G. and Campión, P. 2006. Medición de la eficiencia técnica mediante el método de la frontera estocástica. El caso del sector manufacture italiano. *Estudios Económicos*. 23(46):93-126. <https://revistas.uns.edu.ar/ee/article/view/848/502>.
- 23 SE. 2012. Secretaría de Economía. Análisis de la situación económica, tecnológica y de política comercial del sector edulcorantes en México. 27-50 pp. <https://www.economia.gob.mx/files/comunidad-negocios/industria-comercio/Analisis-Sectorial-Mercado-Edulcorantes.pdf>.
- 24 SIAP. 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- 25 UNC-CNPR. 2023. Unión Nacional de Cañeros, A. C. Confederación Nacional de Propietarios Rurales. Estadísticas de la agroindustria de la caña de azúcar 2013-2022. Ciudad de México, México. 21ª Ed. 192-297 pp.

## Evaluación del rendimiento agroindustrial del azúcar de los ingenios azucareros de 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 February 2025
Date accepted: 01 June 2025
Publication date: 25 August 2025
Publication date: Jul-Aug 2025
Volume: 16
Issue: 5
Electronic Location Identifier: e3735
DOI: 10.29312/remexca.v16i5.3735

### Categories

Subject: Artículo

### Palabras clave:

**Palabras clave:**

azúcar por hectárea  
error compuesto  
ineficiencia técnica  
sacarosa en caña

### Counts

Figures: 0

Tables: 4

Equations: 5

References: 25

Pages: 0