

Análisis unificado de la eficiencia técnica de producción de azúcar en México

Mario Iván García-Hernández¹

Román Morales-Pablo²

Verónica Guízar-Serrano³

Fermín Sandoval-Romero^{4,5}

1 Consultor/Investigador Independiente. Av. Úrsulo Galván 36A, Colonia Salitrería, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56150.

2 Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora-Ingeniería en Agrobiotecnología. Carretera Gutiérrez Zamora-Boca de Lima km 2.5, Gutiérrez Zamora, Veracruz, México. CP. 93556.

3 Posgrado del Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230.

4 Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230.

Autor para correspondencia: fsandoval.romero@gmail.com.

Resumen

En México la caña de azúcar es un cultivo importante por ser el principal insumo para la producción de azúcar e impactar la generación de empleo en 15 estados y 272 municipios. Este estudio tuvo como objetivo estimar la eficiencia técnica de los ingenios azucareros de la zafra 2022-2023 en la producción de azúcar estándar. La metodología empleada fue el análisis de la envolvente de datos no paramétrico con componente estocástico (StoNED), que unifica los enfoques del análisis de datos envolventes y el análisis de frontera estocástica. Los resultados mostraron la existencia de heterogeneidad en la eficiencia técnica relativa en la producción de azúcar entre los ingenios. Se identificaron cinco grupos de ingenios: a) diez ingenios con eficiencia óptima; b) 25 ingenios con alta eficiencia relativa; c) cuatro ingenios en el umbral de alta eficiencia relativa; d) cinco ingenios con potencial de mejora; y e) un ingenio en situación crítica por su alta ineficiencia técnica (26%) que fue El Carmen. La eficiencia promedio de la agroindustria resultó ser del 96%. Se concluye que hay una regularidad en el comportamiento de los ingenios El Carmen y El Mante como dos unidades de toma de decisiones que, dada su alta ineficiencia en la producción de azúcar estándar, debido a causas atribuibles a su gestión y prácticas productivas podrían dejar de operar temporal o permanentemente.

Palabras clave:

análisis de datos envolventes, frontera estocástica, gestión de recursos e insumos, ineficiencia técnica.

Introducción

La caña de azúcar en México es de suma importancia por ser el insumo del principal edulcorante que se consume en el país, que es el azúcar de caña y que tiene una participación de 77.54% de la demanda del mercado de edulcorantes de México (Santillán *et al.* , 2017 ; CONADESUCA, 2025) e impacta la generación de empleo en 15 estados y 272 municipios (CONADESUCA, 2024).

En la zafra 2023-2024 se generaron 271 303 empleos directos en 49 ingenios en los eslabones de campo y fábrica de los ingenios azucareros (CNIAA, 2024). En el 2023, la caña de azúcar generó el 5.7% del valor total de la producción de cultivos cíclicos y perennes (SIAP, 2025).

En décadas recientes, las metodologías de análisis de eficiencia multidimensional en la que se consideran múltiples insumos y múltiples productos simultáneamente han ido adquiriendo preeminencia (Johnson y Kuosmanen, 2011). Las dos metodologías que más se han desarrollado son el análisis envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés) y el análisis de frontera estocástica (SFA, por sus siglas en inglés). El DEA se ha aplicado en multiplicidad de áreas, inclusive en la agricultura.

Aldaz y Millán (2003) compararon las metodologías no paramétricas del índice de Malmquist y el DEA para cuantificar la eficiencia agrícola en la Unión Europea para el periodo 1985-2000, y concluyen que la evaluación de la eficiencia con enfoques ligeramente distintos de la misma metodología se ve significativamente afectada.

Santiago *et al.* . (2021) aplicaron el análisis DEA en su variante del índice de Malmquist a un conjunto de datos panel balanceado de caña de azúcar que comprende a 50 ingenios azucareros que operaron durante el periodo de las zafas 2006-2007-2015-2016. Sus resultados mostraron que el ingenio San Miguel del Naranjo tuvo caídas de -10.4% en la productividad, con retrocesos en la eficiencia técnica (-10.2%) y de la tecnología (-0.3%) y que, para el periodo de estudio, 20 ingenios tuvieron productividad negativa y en 30 ingenios mejoró este indicador.

Valdivia *et al.* . (2022) analizaron la eficiencia y la naturaleza de los rendimientos a escala para los ingenios azucareros que molieron en la zafra 2010-2011. Los resultados mostraron que 23 ingenios operaron en su escala óptima, nueve ingenios en eficiencia total, pero con ineficiencia pura y de escala y un tercer grupo operó con ineficiencia total, ineficiencia pura e ineficiencia de escala, y que 23 ingenios operaron con rendimientos constantes a escala, 29 con rendimientos crecientes a escala y únicamente dos ingenios con rendimientos decrecientes a escala. Su conclusión principal indica que los 29 ingenios con rendimientos crecientes a escala podrían mejorar su desempeño si ampliaran su tamaño, dado que la producción y la productividad de los factores aumentaría de manera más que proporcional.

La metodología de la frontera estocástica se ha aplicado muy limitadamente en México y en la agricultura, con la salvedad de Ortega *et al.* . (2025) ; Sandoval *et al.* . (2025) . Autores como Ortega *et al.* . (2023) analizaron la eficiencia técnica de la caña de azúcar en México utilizando la frontera estocástica de producción, partiendo de datos de la Encuesta Nacional Agropecuaria de 2019 (INEGI, 2020). Su resultado principal fue que a nivel de la unidad de producción de caña de azúcar

la eficiencia técnica promedio fue de solo el 47%, con un rango de variación del 15% al 71%, lo que significa una oportunidad para mejorar la eficiencia técnica a nivel de la unidad de producción.

El análisis de frontera estocástica de producción es uno de los dos métodos que se emplean para estimar la ineficiencia de las unidades de análisis; el otro es el análisis envolvente de datos que estima la eficiencia de las unidades de toma de decisiones de manera no paramétrica y determinística. Sin embargo, el rápido avance y desarrollo de nuevas técnicas en el campo de la eficiencia técnica, asignativa y económica permite estimar en la actualidad, este indicador de eficiencia unificando los dos enfoques en el que se ha denominado análisis de la envolvente de datos no paramétrica con componente estocástico (StoNED) por sus siglas en inglés (Andor y Hesse, 2014 ; Kuosmanen *et al.* , 2015).

En este contexto, el objetivo de la presente investigación es estimar la eficiencia técnica de los ingenios en la producción del azúcar estándar de la agroindustria de la caña de azúcar con la finalidad de determinar cuáles fueron las unidades de toma de decisiones con el mejor desempeño en términos de la eficiencia técnica durante la molienda de la zafra 2022-2023 de la agroindustria de la caña de azúcar en México.

Materiales y métodos

En el análisis las fuentes primarias de información fueron el informe estadístico de la agroindustria de la caña de azúcar de la Unión Nacional de Cañeros (UNC-CNPR, 2024) y del manual azucarero mexicano de la CNIAA (2024) . Las variables utilizadas en la investigación se describen en el Cuadro 1 .

Cuadro 1. Definición de las variables utilizadas en la investigación.

Variable	Descripción	Unidades
Stasu	Azúcar estándar producida	(t)
Ragrca	Caña bruta molida	(t)
Bubag	Bagazo quemado	(t)
Lab	Mano de obra	Personas
Iare	Superficie industrializada de caña	(ha)
Haveh	Vehículos de arrastre	Número
Elcon	Consumo de energía eléctrica	(kW h ⁻¹)

Elaborado con base en UNC-CNPR (2024) .

El método utilizado para estimar la eficiencia (o ineficiencia) técnica de las unidades de toma de decisiones (DMU, por sus siglas en inglés) es un método no paramétrico que conjunta mínimos cuadrados no paramétricos convexos (CNLS, por sus siglas en inglés) con la envolvente de datos no paramétrica estocástica (StoNED) (Kuosmanen *et al.* , 2015).

En la primera etapa se trabaja con el modelo CNLS en el que la frontera de producción convexa se estima resolviendo el problema de optimización $\min_{\alpha_i, \beta_i, \epsilon_i} \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2$ sujeto a las restricciones: 1)

restricciones de ajuste para cada DMU_i : $y_i = \alpha_i + \beta_i' x_i - \varepsilon_i$ 2). Restricciones de convexidad para todos los pares de unidades (i, j) que garanticen que la frontera de producción es convexa: $\alpha_i + \beta_i' x_j \leq \alpha_j + \beta_j' x_j$ 3). Restricciones de monotonicidad que garanticen que el aumento de cualquier input no resulte en una reducción de output al ser los coeficientes no negativos: $\beta_i \geq 0$, donde n es el número total de unidades tomadoras de decisiones o unidades de análisis; α_i es la ordenada al origen para la DMU_i ; β_i es el vector de coeficientes o pendientes que es la aportación marginal de cada output en la DMU_i ; ε_i es el término de error compuesto (ruido estadístico e ineficiencia técnica) para la DMU_i ; y_i es el output observado de la DMU_i ; x_i es el vector de inputs de la DMU_i ; $\beta_i' x_i$ es el producto escalar de los coeficientes y los inputs (impacto lineal de los inputs sobre el output).

Una vez estimados en la primera etapa los residuos CNLS se utilizan en la segunda fase, en la que se descomponen en $\varepsilon_i = v_i - u_i$. Donde: $v_i \sim N(0, \sigma_v^2)$, y el error que representa a la ineficiencia técnica u_i ; en este trabajo, se asume que se distribuye de manera asimétrica mediante una distribución semi-normal e $u_i \geq 0$. La estimación de los parámetros requiere estimar la varianza del ruido estadístico (σ_v^2) y la varianza de la ineficiencia (σ_u^2) por máxima verosimilitud (MLE), maximizando: $L(\sigma_v^2, \sigma_u^2) = \sum_{i=1}^n f(\varepsilon_i | \sigma_v^2, \sigma_u^2)$, donde $f(\cdot)$ es la función de densidad conjunta de $v_i - u_i$. El valor esperado del error que representa la ineficiencia u_i , condicional del ruido estadístico ε_i , es estimado mediante el denominado predictor de Jondrow *et al.* (1982), que es: $E(u_i | \varepsilon_i) = \sigma \left[\frac{\lambda}{1 - \lambda^2} \right] \left[\frac{\varphi(z_i)}{1 - \Phi(z_0)} - z_i \right]$. Donde: $\varphi(\cdot)$ y $\Phi(\cdot)$ corresponden a la función de densidad y a la distribución acumulada de una distribución normal estándar, respectivamente y la expresión $\lambda = \frac{\sigma_u}{\sigma_v}$ representa la relación de la ineficiencia sobre el ruido estadístico; $\sigma = \sqrt{\sigma_v^2 + \sigma_u^2}$ es la desviación estándar conjunta y $z_i = \frac{\varepsilon_i \lambda}{\sigma}$ es una variable auxiliar estandarizada.

Para lograr la operativización del modelo CNLS-StoNED, se asumió la forma multiplicativa del error compuesto lo que resulta en que la expresión para el cálculo de u_i será ahora $\varepsilon_i = \ln y_i - \ln f(x_i)$. Esto facilita además la interpretación de la u_i porque ahora la ineficiencia técnica será un porcentaje del output. Una ventaja del enfoque CNLS-StoNED es que permite discriminar causas meramente aleatorias y fuera del control de la unidad de toma de decisión respectiva o de su administrador en particular. La estimación del modelo empírico se realizó utilizando el paquete Benchmarking del programa R 4.2.3, elaborado por Bogetoft y Otto (2025). Por último, es necesario acotar que la definición de los rangos de valores de las puntuaciones de eficiencia en los que se agruparon a los ingenios azucareros se sustentó en Cooper *et al.* (1984).

Resultados y discusión

Las estadísticas descriptivas relevantes de las variables del modelo estimado, las cuales corresponden a datos de corte transversal de 47 ingenios azucareros de los 49 que operaron en la zafra 2022-2023, se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas de las variables del modelo utilizado.

Variable	Media	Desviación estándar	Valor	
			Mínimo	Máximo
Stasu	126 301	69 126.7	12 232	289 823
Ragrca	1 114 499	603 772.1	129 485	2 753 533
Bubag	303 925	170 016.6	880	797 902
Lab	5 151	2 813.6	732	16 291
Iare	16 218	9 980	6	47 300
Haveh	339	313.2	48	1 947
Elcon	26 069 204	32 536 679	1 744 580	222 472 745

Las variables y sus unidades físicas son las proporcionadas en el cuadro uno. Elaborado con base en UNC-CNPR (2024) .

A partir de los resultados del modelo estimado es posible distinguir cinco grupos de ingenios acorde a su eficiencia técnica estimada mediante el enfoque CNLS-StoNED. En el primero hay 10 ingenios azucareros con eficiencia técnica óptima (100%) y se encuentran ubicados sobre la frontera de eficiencia observada. Estos ingenios son Alianza Popular, Atencingo, Central Casasano, Central Progreso, El Molino, Emiliano Zapata, Plan de San Luis Potosí, La Fe Pujilic, Quesería y Tamazula.

En un segundo grupo se aglutinan 25 ingenios azucareros que se denominaron de alta eficiencia técnica relativa o ingenios cuasi-eficientes y cuyo rango de la puntuación de eficiencia se extiende desde 90.4% hasta 97.97%. En el límite inferior de este grupo se ubica el ingenio Motzorongo con eficiencia de 90.4% y una ineficiencia del 9.6% imputable exclusivamente a causas de gestión de recursos, insumos y de prácticas bajo control de dicha DMU y no a causas meramente aleatorias que están fuera del control del ingenio, como pudieran ser lluvias excesivas, sequías, entre otras.

Esta es la diferencia clave del método empleado en esta investigación, el análisis de la envolvente de datos no paramétrico con componente estocástico (StoNED) y del análisis envolvente de datos (DEA) en donde a toda la ineficiencia técnica se le imputa de forma exclusiva a la gestión de la unidad de producción en cuestión, toda vez que dicho método no incluye un error estadístico que refleje la ineficiencia imputable solo a factores aleatorios fuera de control de los administradores del ingenio respectivo. En el límite superior se ubica el ingenio Plan de Ayala con una ineficiencia técnica del 2.1%, por lo que se encuentra en el umbral de los ingenios eficientes con un desempeño óptimo. Este grupo de ingenios se muestra en el Cuadro 3 .



Cuadro 3. Ingenios de alta eficiencia técnica relativa o ingenios cuasi-eficientes.

Ingenio	Eficiencia (%)	Ingenio	Eficiencia (%)
Motzorongo	90.4	Bellavista	95
La Gloria	90.9	Tala	95
San Rafael	90.9	Santa Clara	95.2
Eldorado	91.7	Pedernales	95.6
La Providencia	92.3	El Higo	95.8
Mahuixtlán	92.5	El Refugio	96
San Cristóbal	92.6	Lázaro Cárdenas	96.3
Tres Valles	92.7	San Miguel El Naranjo	96.8
Presidente Benito Juárez	92.8	Puga	96.9
El Potrero	93.8	La Margarita	97.2
San José de Abajo	93.2	Melchor Ocampo	97.8
Zapotitlán	93.3	Plan de Ayala	97.9
Cuatotolapam	94		

Elaborado con base en UNC-CNPR (2024) .

En un tercer grupo fue posible colocar a cuatro ingenios azucareros que se pueden caracterizar como ingenios en el que su puntuación de eficiencia se ubicó entre 89.2% y 89.7%, es decir que, son ingenios que están en el umbral de poder ser considerados como de alta eficiencia o ingenios cuasi-eficientes. Dicho grupo se muestra en el Cuadro 4 .

Cuadro 4. Ingenios en el umbral de la alta eficiencia técnica.

Ingenio	Eficiencia (%)	Ingenio	Eficiencia (%)
El Mante	89.2	Constancia	89.3
El Modelo	89.2	Adolfo López Mateos	89.7

Elaborado con base en paquete Benchmarking (2025).

En un cuarto grupo hay cinco ingenios a los que de acuerdo con Cooper *et al* . (1984), se les ha denominado ingenios con potencial de mejora en su eficiencia técnica, pero su situación refleja ya un cierto grado de criticidad, por lo que es aconsejable mejorar prácticas de producción y la gestión de recursos e insumos sobre los que dichas unidades económicas tienen el control. Como se ha mencionado, su ineficiencia técnica se atribuye a las prácticas productivas, a la gestión, administración y relaciones sociales entre los abastecedores de caña y los industriales del azúcar, las cuales no son cuestiones netamente aleatorias como los factores climáticos y otros que están totalmente fuera de control de dichas unidades de toma de decisión. Ese grupo de ingenios azucareros son los que se presentan en el Cuadro 5 .

Cuadro 5. Ingenios con potencial de mejora en eficiencia técnica.

Ingenio	Eficiencia (%)	Ingenio	Eficiencia (%)
Calipam	82.2	San Miguelito	84.4
San Pedro	83.1	San Nicolás	84.8
Santa Rosalía	84.1		

Elaborado con base en paquete R-Benchmarking (2025).

En un quinto grupo, aunque solo hay un ingenio, es el ingenio azucarero El Carmen, el cual por su desempeño, en términos de su eficiencia técnica lo ubica en una situación crítica; su ineficiencia técnica alcanzó en la zafra de estudio el 26%, determinada con la metodología empleada y como ya se mencionó la ineficiencia técnica es atribuible a causas al interior de la unidad de toma de decisiones misma.

Por último, la eficiencia técnica relativa promedio de los 47 ingenios considerados en la investigación fue de 94%. Este número se puede considerar como promedio de la agroindustria de la caña de azúcar de México, por lo que se puede aseverar que la agroindustria nacional es un sector con alta eficiencia técnica relativa; sin embargo, el 6% de ineficiencia se debe a causas no imputables a fenómenos meramente aleatorios como el clima, sino que, a la capacidad de gestión y prácticas productivas de los recursos e insumos de las unidades de toma de decisiones de dicha agroindustria.

Para discutir los resultados de la presente investigación, no se encontró, al leer saber y entender de nuestro conocimiento, ningún estudio similar que haya usado la metodología de la CNLS-StoNED en la agricultura ni en la caña de azúcar al nivel de los ingenios azucareros. Algunos trabajos han aplicado separadamente o bien el análisis de la envolvente de datos o la frontera estocástica. Sandoval *et al.* (2025) aplicaron el análisis de frontera estocástica para evaluar el rendimiento agroindustrial o sacarosa por hectárea de los ingenios azucareros y encontraron que, de los 37 ingenios azucareros estudiados, dos de ellos fueron los de más alta ineficiencia técnica de rendimiento agroindustrial; El Mante con una ineficiencia del 11.4% y El Carmen con una ineficiencia técnica del 15.1%.

Si bien El Mante tuvo en la presente investigación una ineficiencia técnica del 10.8%, en el trabajo de Sandoval *et al.* (2025) que aplicaron la frontera estocástica exclusivamente, tuvo el 15.1% de ineficiencia técnica, como se observa la metodología StoNED nos permitió estimar una puntuación de ineficiencia más baja atribuible a las prácticas productivas y de gestión de dicho ingenio, en el fondo, su situación es preocupante y la podría llevar a dejar de operar ya sea temporal o definitivamente. El mismo razonamiento se aplica para el caso del ingenio El Carmen.

Ortega *et al.* (2023) también aplicaron el enfoque de la frontera estocástica para estimar la eficiencia técnica de la caña de azúcar utilizando datos de la Encuesta Nacional Agropecuaria 2019 (INEGI, 2020) y encontraron que la puntuación media del sector de la caña de azúcar para dicho indicador fue de 47%, variando en un rango desde el 15% hasta el 71%. Este nivel de eficiencia contrasta con el promedio de la agroindustria del 96% que se estima en la investigación de Sandoval *et al.* (2025).

Sin embargo, hay que acotar que el trabajo de Ortega *et al.* (2023) partió de la información de la Encuesta Nacional Agropecuaria de 2019 (INEGI) por lo que la estimación del índice de eficiencia incluyó más de trece variables y se refieren a unidades de toma de decisión a nivel de unidades de producción agrícolas y no al nivel de los ingenios azucareros.

Escobedo *et al.* (2019) calcularon usando el análisis envolvente de datos y con información de la zafra 2015-2015 la eficiencia técnica de los 50 ingenios que operaron en esa zafra y encontró que el promedio de la eficiencia de la agroindustria fue de 89% cuando no consideran la mecanización de la cosecha de la caña y, se elevó al 96.5% cuando consideran la mecanización del corte y recolección de caña. En dicho trabajo se encontró que los cuatro ingenios con la más baja eficiencia técnica fueron El Carmen, San José de Abajo, El Refugio y El Mante cuya eficiencia técnica relativa se ubica en 69%, 69.8%, 75% y 76.4%, respectivamente.

Como se observa, El Carmen y El Mante han sido dos ingenios que en los estudios revisados en los que han utilizado el análisis de la envolvente de datos, o la frontera estocástica o el StoNED que unifica a ambas metodologías, han mostrado un desempeño deficiente en cuanto a su eficiencia técnica.

Conclusiones

El análisis se sustentó en la utilización del enfoque del análisis de la envolvente de datos no paramétrica estocástica (StoNED), el cual representa la unificación de dos enfoques antes disímiles; el análisis de la envolvente de datos y del análisis de frontera estocástica.

La integración metodológica permite considerar durante el análisis, tanto las características no paramétricas y axiomáticas del análisis envolvente de datos el cual es útil para manejar múltiples insumos y múltiples productos y sin asumir una forma funcional específica; y la capacidad del análisis de frontera estocástica para modelar el ruido estadístico propio de los procesos de producción lo cual arroja una evaluación robusta de la eficiencia técnica.

Los hallazgos de esta investigación han revelado una variación significativa en los niveles de eficiencia técnica a través de los ingenios que conforman la agroindustria azucarera mexicana. Ello permitió identificar grupos de ingenios que van desde aquellos con eficiencia óptima, alcanzando el 100%, hasta otros que muestran una alta eficiencia relativa, ingenios en el umbral para lograr esta alta eficiencia y, por último, ingenios con un claro potencial de mejora.

En este contexto, un caso que resulta particularmente notable es el de los ingenios El Mante y El Carmen, ya que ambos han mostrado una tendencia a exhibir una ineficiencia técnica persistente en comparación con el resto de los ingenios analizados y así lo demuestran estudios previos de eficiencia técnica como en este trabajo.



Bibliografía

- 1 Aldaz, N. and Millán, J. A. 2003. Análisis Malmquist y DEA intertemporal de las agriculturas de la Unión Europea. *Economía Agraria y Recursos Naturales*. 3(6):45-64. <https://recyt.fecyt.es/index.php/ECAGRN/article/view/14440>.
- 2 Andor, M. and Hesse, F. 2014. The StoNED age: departure into a new era of efficiency analysis? A Monte Carlo comparison of StoNED and the 'oldies' (SFA and DEA). *Journal of Productivity Analysis*. 41(1):85-109. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11123-013-0354-y>.
- 3 Bogetoft, P. and Otto, L. 2025. *Benchmarking: benchmark and frontier analysis using DEA and SFA* (version 0.33) [package de R]. R Foundation for Statistical Computing. 48-59 pp. <https://CRAN.R-project.org/package=Benchmarking>.
- 4 CNIAA. 2024. Cámara nacional de las industrias alcoholera y azucarera. El manual azucarero mexicano. Compañía Editorial del Manual Azucarero. 177-394 pp. <https://www.manualazucarero.com>.
- 5 CONADESUCA. 2024. Comité nacional para el desarrollo sustentable de la caña de azúcar. 11 informe estadístico del sector agroindustrial de la caña de azúcar en México, zafras 2014-2015/2023-2024. 2-10 pp. <https://www.siiba.conadesuca.gob.mx/siica/docext/11vo-Informe-Estadistico.pdf>[https://doi.org/10.1016/0304-4076\(82\)90004-5](https://doi.org/10.1016/0304-4076(82)90004-5).
- 6 CONADESUCA. 2025. Comité nacional para el desarrollo sustentable de la caña de azúcar balance nacional de edulcorantes. Ciclo 2024/2025. 1-5 pp. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/977417/2doBal-est-24-25-2.5-meses-.pdf>.
- 7 Escobedo, C. O. A. y Valdivia, A. R. 2019. Análisis de la eficiencia técnica de la agroindustria de la caña de azúcar en México con el análisis envolvente de datos. *Revista Mexicana de Economía Agrícola y de los Recursos Naturales*. 12(1):72-91. <http://dicea.chapingo.mx/wp-content/uploads/2019/07/ENERO-JUNIO-2019.pdf>.
- 8 INEGI. 2020. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Encuesta Nacional Agropecuaria 2019. <https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2019/#Tabulados>.
- 9 Johnson, A. L. and Kuosmanen, T. 2011. A bridge too far? The state of the art in combining the virtues of stochastic frontier analysis and data envelopment analysis. *Operations Research*. 59(6):1355-1371. <https://doi.org/10.1287/opre.1110.0962>.
- 10 Jondrow, J.; Lovell, C. A. K.; Materov, I. S. and Schmidt, P. 1982. On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model. *Journal of Econometrics*. 19(2-3):233-238. Doi: [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(82\)90004-5](https://doi.org/10.1016/0304-4076(82)90004-5).
- 11 Kuosmanen, T. and Kortelainen, M. 2012. Stochastic non-smooth envelopment of data: semiparametric frontier estimation subject to shape constraints. *Journal of Productivity Analysis*. 38(1):11-28. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11123-010-0201-3>.
- 12 Kuosmanen, T.; Johnson, A. and Saastamoinen, A. 2015. Stochastic nonparametric approach to efficiency analysis: a unified framework. In: Zhu, J. Ed. *Data Envelopment Analysis*. Springer. 191-244 pp. Doi: 10.1007/978-1-4899-7553-9-7.
- 13 Muyanga, M. and Jayne, T. S. 2019. Revisiting the farm size-productivity relationship base on a relatively wide range of farm sizes: evidence from Kenya. *American Journal of Agricultural Economics*. 101(4):1140-1163. Doi: <https://doi.org/10.1093/ajae/aaz003>.
- 14 Omotilewa, O. J.; Jayne, T. S.; Muyanga, M.; Aromolaran, A. B.; Liverpool, T. L. S. and Awokus, T. 2021. A revisit of farm size and productivity: empirical evidence from a wide range of farm sizes in Nigeria. *World Development*. 146:1-15. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105592>.
- 15 Ortega, D. A.; Flores, S. M. and Aguilar, R. A. N. 2025. Stochastic frontier analysis and agricultural typologies: applied to Mexico's sugarcane industry. *Regional Science Policy & Practice*. 17(4):1-18. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsp.2025.100173>.

- 16 Sandoval, R. F.; Cuevas, A. C. M.; Montiel, B. B. M. y Altamirano, C. J. R. 2025. Evaluación del rendimiento agroindustrial del azúcar de los ingenios azucareros de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 16(5):1-10.
- 17 Santiago, Z. I. M.; Martínez, D. M. Á.; 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):1005-1017. Doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2692>.
- 18 Santillán, F. A.; García, L. R.; Vásquez, B. N.; Santoyo, C. V. H.; Melgar, M. M.; Pereira, W.; Larrahondo, A. J. E. y Merino, G. A. 2017. Impacto de la sustitución del azúcar de caña por edulcorantes de alta intensidad en México. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). 125-126 pp. <https://ciestaam.edu.mx/publicaciones2018/libros/edulcorantes.pdf>.
- 19 UNC-CNPR. 2024. Unión Nacional de Cañeros, AC. Confederación nacional de propietarios rurales. Estadísticas de la agroindustria de la caña de azúcar 2013-2022. Ciudad de México, México. 21vª. Edición. 190-297 pp.



Análisis unificado de la eficiencia técnica de producción de azúcar 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
ISSN (electronic): 2007-9934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 September 2025
Date accepted: 01 January 2026
Publication date: 01 January 2026
Publication date: Jan-Feb 2026
Volume: 17
Issue: 1
Electronic Location Identifier: e3958
DOI: 10.29312/remexca.v17i1.3958
Publisher ID: 00007

Categories

Subject: Artículos

Palabras clave:

Palabras clave:

análisis de datos envolventes
frontera estocástica
gestión de recursos e insumos
ineficiencia técnica

Counts

Figures: 0
Tables: 5
Equations: 0
References: 19