

Identificación de los ingenios azucareros de mayor eficiencia técnica relativa en México

Fermín Sandoval-Romero¹
Blanca Margarita Montiel-Batalla²
Ángeles Suhgey Garay-Jácome³
Jonatan Blas-Cortes^{4,5}

1 Consultor/investigador independiente. Cerrada San Francisco núm. 7, San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México. CP. 56220. Tel. 595 1020168. (fsandoval.romero@gmail.com).

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

3 Programa de Doctorado-División de Ciencias Económico-Administrativas-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Los Reyes km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. Tel. 595 9521500, ext. 1668. (anllely0608@gmail.com).

4 Programa en Economía-Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática-Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. Tel. 55 20493083.

Autor para correspondencia: blasj316@gmail.com.

Resumen

En 2021 México ocupó el sexto lugar en el mundo en la producción de caña de azúcar con el 2.9% e internamente esta gramínea se cultiva en 16 estados. En la zafra 2021-2022 la agroindustria cañera ocupó 182 512 productores y en 2022 generó el 5% del valor de la producción agrícola. El objetivo del trabajo fue estimar la eficiencia relativa bajo retornos constantes y variables a escala de los 47 ingenios azucareros que operaron durante la zafra 2021-2022 en los 16 estados en que se produce caña de azúcar, para poder identificar los ingenios más eficientes de la agroindustria cañera. La metodología utilizada fue el modelo de súper-eficiencia basada en holguras del análisis envolvente de datos orientado al insumo. En los resultados se identificaron 29 ingenios como los más eficientes. Los cinco ingenios de mejor desempeño fueron Zapopita, San Cristóbal, Tres Valles, Benito Juárez y Calipam y los tres de menor desempeño San Miguelito (0.937), Bellavista (0.919) y Constanacia (0.905). Se concluyó que el método utilizado permitió identificar las unidades de toma de decisiones más eficientes y fundamentar el diseño de programas que fomenten las mejores prácticas productivas y gestión de aquellas unidades de menor desempeño.

Palabras clave:

análisis de datos envolventes, holguras, modelo de súper eficiencia, política agrícola, programación lineal.



Introducción

En el sector primario de México, el cultivo de la caña de azúcar se desarrolla en 16 entidades federativas y 267 municipios ocupando una superficie de 912 968 ha industrializadas en 49 ingenios (CONADESUCA, 2022). En términos de empleo, si se considera a los abastecedores de caña de azúcar de los 49 ingenios azucareros que operaron en la zafra 2021-2022, se crearon 188 512 empleos directos entre los propios productores, 25 000 empleos entre empleados permanentes, temporales y eventuales en los propios ingenios azucareros, además de 72.9 mil cortadores de caña (CNIAA, 2022).

En esta investigación, el enfoque utilizado para determinar la eficiencia relativa de las unidades de toma de decisiones, en este caso los ingenios azucareros, es un enfoque no paramétrico y por lo tanto, no requiere la especificación una forma funcional ni supuestos sobre la normalidad de las variables a utilizar, es posible utilizar la metodología del análisis de datos envolvente en su variante del modelo de súper eficiencia, con el fin de determinar cuáles son los ingenios azucareros más eficientes entre los 47 seleccionados para el estudio (Simar and Wilson, 2000; Hollingsworth and Smith, 2003; CONADESUCA, 2024).

El enfoque del análisis de datos envolventes (DEA), por sus siglas en inglés es ampliamente utilizado para analizar la eficiencia técnica, economías y rendimientos a escala, la productividad y cambio tecnológico a través del tiempo, en una gran diversidad de áreas, desde su introducción por Charnes *et al.* (1978), aun cuando su uso en la agricultura ha sido muy escaso en la gran mayoría de los países, incluido México.

En un estudio de Escobedo y Valdivia (2019) utilizando la DEA convencional y un conjunto de datos de 50 observaciones para la zafra 2015-2016, identificaron que todos los ingenios que son eficientes el indicador respectivo fueron igual a la unidad; no obstante, entre los ingenios eficientes habrá algunos que en la práctica lo sean más que otros. Santiago *et al.* (2021), utilizaron también la DEA para calcular el índice de productividad de Malmquist y estimar la productividad total de los factores, la eficiencia técnica y el cambio tecnológico de los ingenios cañeros de México, a través del tiempo para el periodo de zafra 2006-2007-2015-2016. En sus resultados encontraron que el ingenio El Dorado de Sinaloa durante todo el periodo de estudio registró un crecimiento en su eficiencia técnica de 4.4%, su progreso técnico e innovación en 21.7% y la productividad total de los factores en 27%.

En este marco, el objetivo de la presente investigación es estimar los indicadores de eficiencia relativa bajo retornos constantes y variables a escala de los ingenios azucareros que operaron durante la zafra 2021-2022, utilizando el modelo de súper eficiencia del análisis envolvente de datos para poder identificar de manera eficaz a los ingenios más eficientes de la agroindustria cañera de México.

Materiales y métodos

El material utilizado para la estimación del modelo del análisis de datos envolventes fue información estadística secundaria de la caña de azúcar de la zafra 2021-2022 obtenida de UNC-CNPR (2022). El software utilizado para realizar el análisis fue el Cran-R Benchmarking. El método que se utilizó para estimar la eficiencia relativa de los ingenios es el análisis envolvente de datos (DEA) (Rincón *et al.*, 2016; Bogetoft y Otto, 2024).

Ahora bien, en el caso de los dos modelos convencionales del DEA, es decir el DEA con retornos constantes a escala y el DEA con retornos variables a escala al estimar las eficiencias relativas de las unidades de toma de decisiones (DMU) no discriminan de entre todas aquellas unidades que resulten completamente eficientes, por lo que el indicador de eficiencia relativa en todos los casos será igual a la unidad (Tone, 2002).

De esta manera, el método utilizado para identificar los ingenios más eficientes de la agroindustria cañera durante la zafra 2021-2022 fue el modelo de súper eficiencia, que es una variante de los dos modelos convencionales del análisis envolvente de datos, que estima indicadores de

eficiencia mayores a la unidad para aquellas unidades de toma de decisiones que en los modelos convencionales solo pueden tomar un valor igual a uno en caso de ser completamente eficientes, por lo que de haber un número importante de ingenios cuya eficiencia sea del 100%, no se puede identificar de entre ellos cuales son efectivamente los más eficientes, situación que no ocurre en modelo de súper eficiencia que si permite hacerlo.

El modelo teórico estimado con la base de datos de la caña de azúcar disponible es el modelo teórico del DEA de súper eficiencia no radial basado en holguras orientado al insumo (SSB-I). Las expresiones de programación lineal del modelo de super-eficiencia se puede consultar en Tone (2002). Las variables utilizadas en la investigación se presentan en el (Cuadro 1).

Cuadro 1. Definición de las variables del estudio.

Variable	Descripción	Unidades	Concepto
Azptoe	Azucar base estándar producción total	(t)	Producto
Cachaza	Cachaza obtenida de la molienda	(t)	Producto
Bagob	Bagazo obtenido de la molienda	(t)	Producto
Supin	Superficie industrializada	(ha)	Insumo
Vehac	Vehículos de acarreo de caña de campo a ingenio	Unidad	Insumo
Camobr	Caña molida bruta	(t)	Insumo
Mobra	Mano de obra	Personas	Insumo
Cenel	Consumo de energía eléctrica	Megawatt	Insumo
Cotot	Diesel total en la alza y transporte de caña	(hL)	Insumo
Vapgen	Vapor generado	(t)	Insumo

Con base en UNC-CNPR (2022); Debernardi *et al.* (2018).

Respecto a las variables utilizadas, es necesario señalar las siguientes singularidades. La cantidad de diesel total para la transporte de caña de campo al ingenio se imputó a partir de Debernardi *et al.* (2018) quienes estimaron este parámetro para 14 ingenios. Para los restantes 33 ingenios se utilizó el promedio aritmético del mencionado estudio, el cual tuvo un valor de 2.45 L t⁻¹ de caña transportada. De esta manera, al multiplicar esta constante por la caña molida bruta se obtuvo la estimación del diesel total para el transporte y alza de la caña de azúcar en la zafra 2021-2022.

Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se presentan las estadísticas descriptivas de las variables utilizadas en la metodología aplicada empíricamente. La definición de las variables se corresponde a la presentada en el Cuadro 1.

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de las variables de análisis.

Variable	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Azptoes	125 456.9	69 645.2	12 232	289 823
Supin	16 184.3	9 847.2	1 519	47 300
Mobra	5 119.1	2 836.2	732	16 291
Vehac	336.1	315.9	48	1 947
Vapgen	599 958.1	343 362.8	63 840	1 489 192
Cenel	25 972.7	32 889.4	1 745	222 473

Variable	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Diese	26 819.8	14 373.9	3 168	67 363
Azptoes	125 456.9	69 645.2	12 232	289 823
Cacha	42 479.1	24 382.6	5 466	122 760
Bagob	319 205.6	184 246.9	37 789	87 963

Con base en UNC-CNPR (2022).

Al aplicar el análisis de datos envolventes con retornos constantes a escala con orientación al insumo, se encuentra que la eficiencia relativa de una proporción importante de tales unidades de toma de decisiones es igual a la unidad. Esta situación se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Resultados de eficiencia relativa con los modelos convencionales de la DEA.

Modelo DEA convencional	Núm. de ingenios con eficiencia relativa		Total de ingenios
	Menor a la unidad	Igual a la unidad	
Con retornos constantes a escala	26	21	47
Con retornos variables a escala	18	29	47

Con base en las corridas de Cran R Benchmarking.

En el caso del modelo DEA con retornos constantes a escala la eficiencia técnica relativa promedio fue de 97.6% y la más baja del 90.1% que correspondió al ingenio Constancia. Para el caso del modelo con retornos variables a escala, la media de la eficiencia técnica relativa fue del 98.6% y la más baja del 90.47%, que también correspondió al ingenio Constancia. Como se ha señalado, una desventaja de los dos modelos convencionales del DEA es que, si una proporción importante de las unidades de toma de decisiones muestra que su eficiencia es del 100%, tal hecho no aportó criterios sobre el diseño de políticas diferenciadas de apoyo para aquellos ingenios cuya eficiencia relativa sea baja o para saber cuáles ingenios son los que realizan las mejores prácticas productivas, los cuales pueden ser la referencia para el diseño de políticas públicas de apoyo al ingreso de los abastecedores de la materia de la caña de azúcar o de una política de apoyo según tamaño y escala de operación de los ingenios azucareros.

Sin embargo, como señala Tone (2002), la investigación empírica ha mostrado que en las industrias que producen un bien homogéneo, en este caso el azúcar estándar, aun cuando las unidades de toma de decisiones operen a la misma escala, lo harán a distintos niveles de eficiencia técnica relativa. En el marco de la propia metodología del análisis de datos envolventes, una variante de esta que permite identificar cuales ingenios son en la práctica los de mayor eficiencia, es el modelo de súper eficiencia basado en holguras (SBM) (Petersen, 1993; Tone, 2002; Chen, 2004). Es este modelo permitió identificar y clasificar los ingenios azucareros más productivos pues el indicador de eficiencia técnica de los ingenios más eficientes será mayor que la unidad.

Eficiencia técnica con retornos constantes a escala

Los resultados del modelo de súper eficiencia obtenidos con las corridas del paquete Cran-R Benchmarking son los presentados en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Eficiencia relativa de los ingenios azucareros bajo retornos constantes a escala.

Ingenio	Eficiencia técnica con RCE	Ingenio	Eficiencia técnica con RCE
1 Benito Juárez	6.116	1 Calipam	0.997

	Ingenio	Eficiencia técnica con RCE		Ingenio	Eficiencia técnica con RCE
2	El Higo	1.667	2	San Cristóbal	0.988
3	Santa Clara	1.32	3	Cuatotolapan	0.987
4	El Mante	1.288	4	San José de Abajo	0.985
5	Melchor Ocampo	1.19	5	Adolfo López Mateos	0.984
6	El Refugio	1.176	6	San Miguel	0.983
7	Emiliano Zapata	1.16	7	Lázaro Cárdenas	0.983
8	Casasano	1.146	8	La Providencia	0.98
9	Quesería	1.143	9	Zapoapita	0.977
10	San Pedro	1.116	10	Progreso	0.976
11	El Carmen	1.094	11	Plan de San Luis	0.974
12	Atencingo	1.066	12	La Margarita	0.966
13	San Rafael	1.061	13	Alianza Popular	0.966
14	Eldorado	1.06	14	José María Morelos	0.965
15	Huixtla	1.06	15	Mahuixtlán	0.963
16	Tres Valles	1.057	16	Puga	0.962
17	Pujilic	1.042	17	Pedernales	0.949
18	Tamazula	1.027	18	San Nicolás	0.939
19	La Gloria	1.016	19	El Potrero	0.939
20	El Modelo	1.012	20	Plan de Ayala	0.935
21	El Molino	1.01	21	Santa Rosalía	0.934
			22	Tala	0.92
			23	Motzorongo	0.916
			24	Bellavista	0.914
			25	San Miguelito	0.91
			26	Constancia	0.901

RCE= rendimientos constantes a escala. Con base en las corridas del Cran-R Benchmarking.

Como se puede observar en el Cuadro 4, el modelo DEA de súper eficiencia basado en holguras, si permite identificar los ingenios que en la práctica son los de mejor desempeño en la agroindustria cañera a diferencia de los resultados de los dos modelos DEA convencionales donde, como es posible visualizar en el Cuadro 3, solo se identifican dos grupos de unidades de tomas de decisiones: el grupo de ingenios con eficiencia igual o menor a la unidad, tanto en el caso con retornos constantes a escala como en el caso de retornos variables a escala.

En los casos donde el indicador de eficiencia técnica relativa es igual a la unidad (21 y 29 ingenios, respectivamente) es imposible diferenciar cuáles son en la práctica los realmente eficientes. Esta situación si es posible observarla en el en el Cuadro 3, donde se halló que para la zafra de estudio fueron los ingenios Benito Juárez, El Higo, Santa Clara y El Mante los más eficientes, siendo los de más pobre desempeño Bellavista, San Miguelito y Constancia.

Eficiencia técnica con retornos variables a escala

De forma análoga al anterior caso, en el Cuadro 5 se presentan los resultados del modelo de súper eficiencia con retornos variables a escala.



Cuadro 5. Eficiencia relativa de los ingenios azucareros bajo retornos variables a escala.

	Ingenio	Eficiencia técnica con RVE		Ingenio	Eficiencia técnica con RVE
1	San Cristóbal	Infinito	1	San José de Abajo	0.997
2	Tres Valles	Infinito	2	Mahuixtlán	0.995
3	Zapoapita	Infinito	3	Cuatotolapan	0.991
4	Benito Juárez	8.566	4	San Miguel	0.988
5	Calipam	2.842	5	Progreso	0.986
6	Eldorado	2.402	6	Motzorongo	0.985
7	El Higo	2.221	7	La Providencia	0.981
8	San Pedro	1.572	8	José María Morelos	0.976
9	Pujilic	1.348	9	La Margarita	0.974
10	Santa Clara	1.331	10	Tala	0.969
11	El Mante	1.291	11	Alianza Popular	0.967
12	Melchor Ocampo	1.273	12	Puga	0.965
13	El Refugio	1.203	13	Plan de Ayala	0.944
14	Atencingo	1.175	14	San Nicolás	0.942
15	Casasano	1.171	15	Santa Rosalía	0.938
16	Emiliano Zapata	1.16	16	San Miguelito	0.927
17	Quesería	1.16	17	Bellavista	0.919
18	El Carmen	1.106	18	Constancia	0.905
19	San Rafael	1.105			
20	Huixtla	1.089			
21	Lázaro Cárdenas	1.057			
22	Tamazula	1.055			
23	La Gloria	1.03			
24	Pedernales	1.021			
25	El Molino	1.018			
26	El Modelo	1.017			
27	El Potrero	1.007			
28	Plan de San Luis	1.003			
29	Adolfo López Mateos	1.001			

Con base en las corridas del Cran-R.

En el Cuadro 5 se muestran los dos grupos de ingenios identificados una vez que se ha cambiado el supuesto de retornos constantes a escala por el de retornos variables a escala. El primero corresponde a aquellos ingenios cuyo indicador de eficiencia es mayor a la unidad y el segundo en el cual este indicador es menor a uno. No obstante, como se ha explicado anteriormente, en el primer grupo si es posible obtener una jerarquización de los ingenios que presentan la mayor eficiencia técnica.

El resultado indica que bajo retornos variables a escala los ingenios San Cristóbal, Tres Valles, Zapoapita, Benito Juárez y Calipam son los del mejor desempeño; es decir, los que mejor eficiencia técnica relativa tuvieron en la zafra 2021-2022 por haber tenido las mejores prácticas productivas y gestión de sus factores de producción. En este escenario los tres ingenios de más baja eficiencia fueron San Miguelito, Bellavista y Constancia con un indicador de 0.927, 0.919 y 0.905, respectivamente.

Los resultados de esta investigación pueden ser discutidos a la luz de otros trabajos que utilizaron la metodología de frontera de producción eficiente. Escobedo y Valdivia (2019), fueron los primeros en evaluar la eficiencia técnica relativa de la agroindustria de la caña de azúcar para la zafra 2015-2016 bajo el supuesto de retornos constantes a escala y orientación al insumo. En sus resultados, estos autores encontraron que la eficiencia técnica relativa promedio de la agroindustria en la zafra de estudio fue de 89%, no consideró la mecanización de la cosecha de la caña y se elevaba al 96.5% cuando consideró la mecanización del corte y alza de caña. En la investigación se concluyó que en la agroindustria había espacio para mejorar la eficiencia técnica.

En un estudio Santiago *et al.* (2021) aplicaron el índice de productividad de Malmquist para el periodo de zafras 2006-2007-2015-2016 a un conjunto de datos de panel balanceado y un total de 50 ingenios. En sus resultados hallaron que en el periodo de estudio el ingenio El Dorado el cambio porcentual acumulativo en su eficiencia técnica fue de 4.4%, en el progreso técnico e innovación de 21.7% y una productividad total de los factores de 27% mientras que la situación inversa ocurrió para el ingenio San Miguel del Naranjo, cuyo cambio porcentual acumulativo de su eficiencia técnica fue de -10.2%, su progreso tecnológico e innovación creció en -0.3%, mientras que la productividad total de los factores fue de -10.4%. Valdivia *et al.* (2022) analizaron la eficiencia relativa y las economías de escala de los ingenios azucareros para la zafra 2010-2011. En su trabajo se señala que entre 1996 y 2018 cerraron o dejaron de operar 10 ingenios azucareros; es decir, en un periodo de 19 años cerró 16.4% de la infraestructura de molienda de la agroindustria cañera mexicana, lo cual obedeció a ineficiencias en sus parámetros de productividad.

En sus resultados Valdivia *et al.* (2022) encontraron que de 51 ingenios 23 operaron en su escala óptima, un segundo grupo de 9 ingenios operaron con eficiencia total, pero con ineficiencia pura e ineficiencia de escala y, un tercer grupo de 19 ingenios que operó con ineficiencia total, ineficiencia pura e ineficiencia de escala. En cuanto a la naturaleza de los rendimientos, se menciona que se identificaron 23 ingenios operaron con rendimientos constantes a escala, 29 con rendimientos crecientes a escala y solo dos ingenios con rendimientos decrecientes a escala.

La principal conclusión del estudio es que los 29 ingenios con rendimientos crecientes a escala pueden mejorar su desempeño si ampliaran su tamaño, la producción y la productividad de los factores se incrementaría más que proporcionalmente. Una particularidad de los resultados de Valdivia *et al.* (2022) es que también concluyeron que el ingenio Zapoapita (Pánuco) fue el único que se identificó tanto con ineficiencia de escala como con rendimientos decrecientes a escala.

Como se puede observar en Escobedo y Valdivia (2019); Santiago *et al.* (2021); Valdivia *et al.* (2022), se han identificado aquellos ingenios que en términos relativos son los más eficientes en términos técnicos. No obstante, en ninguna de tales investigaciones se hace una clasificación (ascendente o descendente) de cuáles son los ingenios que, en la respectiva zafra, o periodo de zafras, del respectivo estudio son en la práctica los más productivos, aun cuando la información que aportan es valiosa porque ayudan a entender el desempeño de estas complejas unidades de producción en cuanto a su prácticas productivas y gestión de los factores de la producción de que disponen. Finalmente, de acuerdo con Valdivia *et al.* (2022) durante la temporada de cosecha 2010-2011 este ingenio resultó ineficiente y con rendimientos decrecientes a escala, lo que implicaba que, de acuerdo a dicha investigación, podría haber cerrado y dejado de operar. Sin embargo, según sus indicadores para la zafra 2021-2022 obtenidos en el presente estudio dicho ingenio resultó ser uno de los tres con el más alto desempeño, siendo los otros dos San Cristóbal y Tres Valles. El ingenio Zapoapita fue adquirido por el Grupo Pantaleón de Guatemala en 2011.

Conclusiones

Se identificaron los ingenios cañeros Zapoapita, San Cristóbal, Tres Valles, Benito Juárez y Calipam más eficientes en la zafra 2021-2022 y los de menor desempeño resultaron ser San Miguelito, Bellavista y Constancia (cuya eficiencia promedio fue de 0.92). De esta forma, la evaluación de la eficiencia técnica relativa de los ingenios de la agroindustria de la caña de azúcar de México mediante la variante del método de análisis de datos envolventes, denominado modelo de súper eficiencia basado en holguras, orientado al insumo y con retornos variables a escala, permitió identificar cuáles fueron los ingenios cañeros que efectivamente fueron los más eficientes

en la zafra 2021-2022 y superar de esta forma la desventaja de los dos modelos convencionales de la metodología del análisis de datos envolventes que, bajo los supuestos de retornos constantes a escala y con orientación al insumo, identificó 21 ingenios azucareros con eficiencia relativa igual a la unidad y en el caso de retornos variables a escala a 29; lo cual no permitía, en la práctica, distinguir cuáles ingenios son efectivamente los más eficientes. Bajo los mismos supuestos anteriores se encontró que un grupo de 16 tuvo una eficiencia de escala mayor a la unidad, por lo que puede afirmarse que pueden mejorar aún más su desempeño mediante la identificación de mejores prácticas productivas y de gestión.

Bibliografía

- 1 Bogetoft, P. and Otto, L. 2024. Benchmarking with DEA and SFA. R package version 0.32. <https://cran.r-project.org/web/packages/Benchmarking/citation.html>. 15-18 pp.
- 2 Charnes, A.; Cooper, W. W. and Rhodes, E. L. 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*. 2(6):429-444. Doi: Doi: 10.1016/0377-2217(78)90138-8.
- 3 CNIAA. 2022. Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica. El manual azucarero mexicano. Compañía Editorial del Manual Azucarero. 350 p.
- 4 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.siiiba.conadesuca.gob.mx/sicostossustentabilidad/consultapublica/ConsultaPublica.aspx?app=costos>.
- 5 CONADESUCA. 2022. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. Noveno informe estadístico del sector agroindustrial de la caña de azúcar zafras. <https://www.siiiba.conadesuca.gob.mx/siaca/docext/9no-informe-estadistico.pdf>.
- 6 Debernardi-Vequia, H.; Ortiz-Laurel, H. y Rosas-Calleja, D. 2018. Eficiencia en el uso del combustible para la producción de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en la Región Golfo de México. *Agroproductividad*. 10(11):81-86. <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/60/55>.
- 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):77-91. <https://dicea.chapingo.mx/wp-content/uploads/2019/07/enero-junio-2019.pdf>.
- 8 Hollingsworth, B. and Smith, P. 2003. Use of ratios in data envelopment analysis. *Applied Economics Letters*. 10(11):733-735. 10.1080/1350485032000133381.
- 9 Rincón, S. I. B.; Arango, B. L. J. y Torres, Y. O. J. 2016. Metodología de análisis envolvente de datos (DEA), procesos administrativos y operacionales de las políticas gubernamentales en los países latinoamericanos. *Tlatemoani*. 7(22):63-89. <https://www.eumed.net/rev/tlatemoani/22/tlatemoani22.pdf>.
- 10 Santiago-Zarate, I. M.; Martínez-Damián, M. A.; Cuevas-Alvarado, C. M; Valdivia-Alcalá, R.; García-Hernández, M. I. y Hernández-Toscano, 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: 10.29312/remexca.v12i6.2692.
- 11 Simar, L. and Wilson, P. W. 2000. Statistical inference in nonparametric frontier models: The state of the art. *Journal of Productivity Analysis*. 13(1):49-78. Doi: 10.1023/a:1007864806704.
- 12 Tone, K. X. 2002. A Slacks-based measure of super efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*. 143(1):32-41. Doi: 10.1016/S0377-2217(01)00324-1.

- 13 UNC-CNPR. 2022. Union Nacional de Cañeros-Confederación Nacional de Propietarios Rurales. Estadísticas de la agroindustria de la caña de azúcar. Vigésima primera edición. Ciudad de México, México. 378 p.
- 14 Valdivia-Alcalá, R.; Cuevas-Alvarado, C. M.; Vázquez-Muñoz, J. S. García-Hernández, M. I.; Santiago-Zarate, I. M. y Garay-Jácome, A. S. 2022. Análisis de la eficiencia y retornos de escala de los ingenios azucareros de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 13(1):141-153. Doi: 10.29312/remexca.v13i1.2639.



Identificación de los ingenios azucareros de mayor eficiencia técnica relativa 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 February 2025
Date accepted: 01 May 2025
Publication date: 04 May 2025
Publication date: Apr-May 2025
Volume: 16
Issue: 3
Electronic Location Identifier: e3611
DOI: 10.29312/remexca.v16i3.3611

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

análisis de datos envolventes

holguras

modelo de súper eficiencia

política agrícola

programación lineal

Counts

Figures: 0

Tables: 5

Equations: 0

References: 14

Pages: 0