

Productividad y cambio tecnológico en la agroindustria de la caña de azúcar en México

Ilich Miguel Santiago Zárate¹
Miguel Ángel Martínez Damián²
Cristóbal Martín Cuevas Alvarado^{3§}
Ramón Valdivia Alcalá¹
Mario Ivan García Hernández¹
Jesdel Hernández Toscano¹

¹Postgrado de la División de Ciencias Económico Administrativas-UACH. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, México. CP. 56230. Tel. 951 3979433. (sazami.09@gmail.com; ivan.garcya@gmail.com; jesdel.91@hotmail.com; ramvaldi@gmail.com). ²Colegio de Posgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. Tel. 55 58045900. (angel01@colpos.mx). ³Consultor independiente. Calle Arboledas 28, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56264. Tel. 55 61651251.

§Autor para correspondencia: cuevas.cristobal@hotmail.com.

Resumen

La agroindustria de la caña de azúcar en México tiene una importante participación en el empleo y eslabonamientos en las economías de 267 municipios de 15 entidades federativas. El objetivo de la presente investigación fue analizar la productividad total de los factores, la eficiencia técnica y el cambio tecnológico de los ingenios cañeros de México. El método utilizado fue el índice de Malmquist que mide los cambios de la productividad a través del tiempo y la descompone en cambios en la eficiencia y cambios en la tecnología bajo los supuestos de orientación al insumo y de retornos constantes a escala. El análisis utilizó datos de panel balanceados para el periodo de zafra 2006/2007-2015/2016. Los resultados muestran que a nivel de unidades de toma de decisiones destaca el caso del ingenio El Dorado en Sinaloa cuyo 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%. La situación inversa ocurre con el ingenio San Miguel del Naranjo, cuyo cambio porcentual acumulativo de su eficiencia técnica creció en -10.2%, del progreso tecnológico e innovación en -0.3%, mientras que la productividad total de los factores ascendió al -10.4%. La conclusión general es que para 20 ingenios azucareros que operaron en el periodo de estudio la productividad creció a tasas negativas y para 30 creció a tasas positivas.

Palabras clave: eficiencia técnica, frontera eficiente, índice de Malmquist, productividad total de los factores.

Recibido: mayo de 2021

Aceptado: agosto de 2021

Introducción

De acuerdo con el CONADESUCA (2017), en la zafra 2016/2017 se cosecharon 777 078 ha y se levantaron 53 308 643 t de caña molida bruta. Se tuvo una oferta de 5 970 373 t de azúcar base estándar. El rendimiento en fábrica fue de 13.194% y en campo de 68.6 t ha⁻¹. El valor aproximado de la caña de azúcar, así como el del azúcar, alcanzaron los \$US 2 271 millones y \$US 3 781 millones respectivamente en la zafra 2016/2017, respectivamente. Esta derrama económica tiene impacto directo en 267 municipios de 15 estados del país, donde habitan 15 millones de mexicanos.

Las 15 entidades federativas donde se cultiva la caña son: Campeche, Chiapas, Colima, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz, respectivamente. La agroindustria de la caña de azúcar del país tiene capacidad instalada para industrializar más de 53 millones de toneladas, producir más de seis millones de toneladas de azúcar que garantizan el abasto nacional y dan cumplimiento a los compromisos internacionales de comercio. En términos macroeconómicos, la caña de azúcar contribuyó en 2016 con aproximadamente 7% del valor de la producción agrícola. Este contexto muestra la importancia de la agroindustria de la caña de azúcar en el sector agrícola en particular y en la economía en general (SIAP-SAGARPA, 2018).

El cultivo de la caña de azúcar cuenta con una norma, la Ley Federal de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (SAGARPA, 2005) y el Programa Nacional de la Caña de Azúcar (PRONAC, SAGARPA-CONADESUCA, 2014) que regulan su funcionamiento y dan directrices para la planeación, modernización y mejora de competitividad vía la investigación con un programa específico para la agroindustria, la operatividad, rentabilidad y contribución al impulso de la capacidad fabril para su molienda; sin embargo, presenta desafíos emanados de las crisis estructurales que ha sufrido la agroindustria tanto en México como en el mundo, en varios periodos del siglo XX e inicios del XXI y que llevaron a la expropiación de varios ingenios por parte de la administración 2001/2006.

El corolario de tal situación son infraestructura y tecnología productiva poco eficientes, elevados costos de producción y una escasa diversificación en el uso de los subproductos obtenidos en el ingenio azucarero y la destilería, así como la modificación de patrones de consumo por cuestiones de salud y la aparición de sustitutos para los productos de la industria. En el ámbito de la ingeniería y de la investigación de operaciones, el análisis de la productividad de una empresa o unidad productiva se hace en términos del cociente de producto total sobre la mano de obra utilizada en el proceso productivo o del producto total por hora.

Estos cocientes son medidas simples de la productividad y aunque son los más comunes es posible utilizar otras medidas de productividad según el ámbito o sector productivo. En la agroindustria de la caña de azúcar se utilizan como medidas de productividad las toneladas de azúcar base estándar obtenida por hectárea. En el contexto anterior y bajo la persistente aseveración de que la agroindustria de la caña de azúcar padece un atraso tecnológico resulta de interés estimar cuantitativamente la eficiencia técnica y el cambio tecnológico en cada uno de los ingenios que operan en la actualidad durante un periodo de al menos 10 años.

De esta manera será posible argumentar el estado de la situación de cada uno de los ingenios, así como evaluar globalmente la agroindustria en un horizonte de corto plazo. Los objetivos de la presente investigación fueron evaluar la evolución de la productividad de la agroindustria de la caña en México en el periodo de zafra 2006/2007-2015/2016 y descomponer el índice de la productividad total de los factores en los índices de cambio en la eficiencia técnica y el de cambio tecnológico utilizando el índice de Malmquist. En el cálculo del índice de Malmquist, que en sí mismo representa a la productividad total de los factores, utiliza el análisis de datos envolventes.

Los modelos de análisis de datos envolventes difieren según la forma de la frontera eficiente utilizada. Los dos modelos comúnmente utilizados son el llamado modelo CCR (Charnes *et al.*, 1978) y el modelo BCC (Banker *et al.*, 1984). Estas dos variantes de modelos de análisis envolvente de datos difieren porque el primero evalúa la escala y las ineficiencias simultáneamente, mientras el segundo evalúa exclusivamente la ineficiencia técnica. En este trabajo se utilizó el enfoque CCR el cual asume rendimientos constantes a escala de las unidades de toma de decisiones (DMU), la cual es una denominación convencional en el análisis de datos envolventes, comúnmente utilizada en la investigación de operaciones.

En esta investigación las DMU corresponden a los ingenios azucareros de México. El modelo CCR asume, como se ha mencionado, retornos constantes a escala (CRS). Charnes *et al.* (1978) definen a la eficiencia como el máximo de un cociente de productos insumos ponderados entre insumos ponderados, sujeto a los cocientes similares para cada unidad de toma de decisiones sean menores o iguales a la unidad. Es decir, el planteamiento original de Charnes *et al.* (1978) para el modelo del análisis de datos envolventes fue de un problema de programación fraccional (Huguenin, 2012).

La eficiencia técnica de la unidad de toma de decisiones k se maximiza bajo dos restricciones. Primero, las ponderaciones aplicadas a los productos e insumos de la empresa k no pueden generar un puntaje de eficiencia mayor a 1 cuando se aplica a cada empresa en el conjunto de datos. Mikulás *et al.* (2010) muestra como el problema de programación fraccional puede ser convertido a uno de programación lineal, la cual es la forma usual de resolver los dos modelos mencionados.

El cálculo del índice de productividad total de los factores se estimó con el índice de productividad de Malmquist (MPI). Este índice mide los cambios de productividad a través del tiempo y puede descomponerse en cambios en la eficiencia y cambios en la tecnología con un enfoque no paramétrico similar al análisis de datos envolventes. La descomposición de la productividad en cambios técnicos y a partir de ello, la recuperación de la eficiencia requiere el uso de una versión contemporánea de los datos y las variantes de tiempo de la tecnología en el período de estudio.

La media geométrica del índice de productividad de Malmquist (MPI) orientado al insumo se

representa con la siguiente expresión: $MPI_I^G = (MPI_I^t MPI_I^{t+1})^{1/2} = \left[\left(\frac{E_I^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{E_I^t(x^t, y^t)} \right) \left(\frac{E_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{E_I^{t+1}(x^t, y^t)} \right) \right]^{1/2}$.

Donde: I = denota la orientación del modelo del MPI, en este caso orientado al insumo y t . Esta media geométrica del modelo MPI orientado al insumo puede ser descompuesta utilizando el concepto de cambio técnico orientado al insumo (TECHCH) y de cambio en la eficiencia orientado al insumo (EFFCH) como se muestra en la siguiente ecuación (Lee y Leem, 2010),

$$MPI_I^G = (EFFCH_I)(TECHCH_I^G) = \left(\frac{E_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{E_I^t(x^t, y^t)} \right) \left[\left(\frac{E_I^t(x^t, y^t)}{E_I^{t+1}(x^t, y^t)} \right) \left(\frac{E_I^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{E_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right) \right]^{1/2}$$

El primer y segundo términos representan el cambio de eficiencia y el cambio de tecnología respectivamente. El MPI dado por antepenúltima ecuación y última se puede definir utilizando la función de distancia de tipo DEA. Es decir, los componentes de MPI pueden derivarse de la estimación de las funciones de distancia definidas en una tecnología de frontera.

Färe *et al* (1994) proporcionaron la derivación formal de MPI y es el método más popular entre los diversos métodos que se han desarrollado para estimar una tecnología de producción (Thanassoulis, 2001; Coelli *et al.*, 2005). Al utilizar la frontera generada con el método DEA ya sea utilizando escalas de retornos constantes o escalas de retornos variables para estimar las funciones de distancia en la última ecuación, la eficiencia técnica se puede descomponer en componentes de eficiencia de escala y eficiencia técnica pura. De acuerdo con Lee y Leem (2010) un cambio de eficiencia de escala (SECH) se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$\text{SECH} = \left[\frac{E_{\text{vrs}}^{\text{t}+1}(x^{\text{t}+1}, y^{\text{t}+1})/E_{\text{crs}}^{\text{t}+1}(x^{\text{t}+1}, y^{\text{t}+1})}{E_{\text{vrs}}^{\text{t}}(x^{\text{t}}, y^{\text{t}})/E_{\text{crs}}^{\text{t}}(x^{\text{t}}, y^{\text{t}})} \cdot \frac{E_{\text{vrs}}^{\text{t}}(x^{\text{t}+1}, y^{\text{t}+1})/E_{\text{crs}}^{\text{t}}(x^{\text{t}+1}, y^{\text{t}+1})}{E_{\text{vrs}}^{\text{t}}(x^{\text{t}}, y^{\text{t}})/E_{\text{crs}}^{\text{t}}(x^{\text{t}}, y^{\text{t}})} \right]^{\frac{1}{2}}$$

se obtiene como: $\text{PECH} = \frac{E_{\text{vrs}}^{\text{t}+1}(x^{\text{t}+1}, y^{\text{t}+1})}{E_{\text{crs}}^{\text{t}+1}(x^{\text{t}+1}, y^{\text{t}+1})}$.

En esta investigación se trabajó con un conjunto balanceado de datos de panel. Un conjunto de datos de panel consta de una serie temporal para cada miembro del corte transversal en el conjunto de datos. Un modelo de datos de panel es aquel que trabaja con los datos en ambas dimensiones y que cuenta con un número de observaciones que equivale al número de momentos de tiempo por el número de clases o identificadores transversales. También los paneles de datos se diferencian por la disponibilidad de información principalmente en dos tipos. Los paneles balanceados son aquellos en que todas las observaciones de corte transversal y de series temporales están disponibles.

Las herramientas básicas de los índices de productividad de Malmquist son las funciones de distancia de insumo y producto, definidas como el escalamiento radial de insumos y productos, respectivamente. Malmquist (1953) definió la función de distancia como la contracción radial a una curva de indiferencia, mientras que Shepard (1970) definió la función de distancia en términos de una función de producción. La definición que se utiliza en la investigación es la función de distancia del insumo expuesta con un alto nivel técnico en Färe y Grosskopf (2000).

En algunas investigaciones se utiliza para este propósito el enfoque paramétrico, pero ya sea que se utilice uno u otro enfoque, ambos (el paramétrico y el no paramétrico), tienen su origen en pocas investigaciones que han desarrollado las dos metodologías, una de ellas es de Färe *et al.* (1994), donde se compara el crecimiento de la productividad, el progreso técnico y el cambio de eficiencia a una muestra de países industrializados para el periodo 1979-1988. Farrell (1959) propuso un procedimiento para medir la eficiencia técnica en los ingenios.

Färe *et al.* (1994), potencian esta propuesta para separar los componentes de los cambios en la productividad y calcular el aporte de cada uno de ellos: cambios en la eficiencia técnica y cambios en la tecnología a lo largo del tiempo. La medida del crecimiento de la productividad es la media geométrica de dos índices de productividad de Malmquist. Es decir, las funciones de distancia de los componentes del índice Malmquist se calculan utilizando métodos de programación no paramétricos.

El índice de productividad de Malmquist fue introducido por Caves *et al.* (1982). Malmquist (1953) propuso construir índices de cantidad como cocientes de funciones de distancia. Las funciones de distancia son representaciones de funciones de tecnología de entradas y salidas múltiples que requieren datos solo en cantidades de entrada (input) y salida (output). En consecuencia, el índice de Malmquist es 'primordial' de cambios en la productividad que, en contraste con el índice Törnqvist, no requiere costos en los ingresos para agregar insumos y productos, pero es capaz de medir el crecimiento total de la productividad de los factores en una producción múltiple.

Hay procedimientos que estudian la dinámica de la eficiencia de las empresas a nivel de firma y el crecimiento de la productividad total de los factores (PTF) para evaluar sus variaciones entre unidades de tomas de decisiones y a través del tiempo para su uso en el desarrollo apropiado de respuestas de política hacia este sector en la economía (Raheman *et al.*, 2009). En este caso se ha usado el método no paramétrico de análisis envolvente de datos para el cálculo del índice de la TFP de Malmquist con un conjunto de datos de panel.

Cuando en una economía hay varios tipos de explotaciones azucareras y se busca calcular la productividad total de los factores para cada uno de ellos, así como determinar los niveles de eficiencia de estos también se ha utilizado el índice de Malmquist (Bushara y Moneim, 2016), ya que permite identificar que parte del cambio en la productividad de la firma o sector es debido al cambio en la eficiencia técnica y que parte debido al cambio en la tecnología.

El índice de Malmquist usa la función de distancia, misma que tiene la ventaja de que permite la descripción de una tecnología con múltiples insumos y múltiples productos sin la necesidad de especificar una función objetivo que refleje el comportamiento de los agentes de la producción tales como la minimización del costo o maximización del beneficio. El progreso técnico en la agricultura esta invariablemente encarnado en nuevos insumos como irrigación, variedades de semillas de alto rendimiento, equipos y maquinaria agrícola moderna, fertilizantes, etc.

El uso de insumos modernos impone la productividad marginal de la tierra, mano de obra y capital e inducen el mejor uso de estos insumos básicos, lo cual se refleja en la mayor intensidad del cultivo, en el progreso técnico, también se capturaría el efecto de la sincronización adecuada, la mejora de la calidad del trabajo, las mejores prácticas de manejo de la unidad productiva, una mayor utilización de los recursos, como el equipo terrestre, lo que conduce a una mayor intensidad de los cultivos, cambios en el patrón de cultivo a favor de cultivos de alto valor agregado.

El primero representa nuevas entradas físicas, mientras que el segundo representa el conocimiento científico. Por lo tanto, el progreso técnico en la agricultura captura el crecimiento en la producción asociada con ambos. En la industria azucarera es importante conocer las variaciones intertemporales y entre estados en los niveles de eficiencia técnica y eficiencia de escala, para ellos es posible utilizar la regresión Tobit con datos de panel (Kumar y Arora, 2012).

Materiales y métodos

De acuerdo con el CONADESUCA (2017), el grueso de la agroindustria de la caña de azúcar se localiza en Veracruz con 18 ingenios (35.3%), Jalisco con 6 (11.8%) y San Luis Potosí con 4 ingenios azucareros (7.8%). Estas tres entidades cuentan con 54.9% de los ingenios que operaron

en periodo de estudio. La principal fuente de información para realizar las corridas del modelo de programación lineal para los cálculos de las funciones de distancia a través del DEA, lo constituyó CONADESUCA (2017). La información utilizada corresponde a un periodo de 10 años para las 50 unidades de toma de decisiones o ingenios azucareros. Por lo tanto de tienen 500 observaciones de datos de panel balanceados.

Es decir, no hay valores perdidos para ningún año para los 50 ingenios. Las variables utilizadas para procesar el modelo de programación lineal, calcular los cambios en las eficiencias, el cambio (regresión) tecnológico(a), las funciones de distancia a través de la DEA y a partir de estas el índice de la productividad total de los factores vía el índice de Malmquist, se muestran en el (Cuadro 1). En la tercera columna se define si dicha variable es un insumo (input) o un producto (output).

Cuadro 1. Variables utilizadas en la investigación.

Variable	Unidades	Tipo
Azúcar producida por hectárea	Toneladas	Output
Cachaza	Toneladas	Output
Energía total consumida	kW-h	Input
Vehículos de acarreo	Unidades	Input
Caña molida neta	Toneladas	Input
Cortadores	Jornaleros	Input
Frentes de corte	Unidades	Input
Tiempo de zafra perdido	Horas	Input

Adaptado de CONADESUCA (2017).

La definición de las variables que se utilizaron para hacer operativa la investigación es la descrita en CONADESUCA (2017). Esta definición tiene fines operativos y prácticos, más que fines teóricos, pues cada variable puede ser motivo análisis teórico en la ingeniería de la caña como en Rein (2012). En el caso de la energía total consumida es una variable no reportada directamente en las estadísticas del CONADESUCA. Algunos ingenios queman petróleo, bagazo y otros compran energía eléctrica a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para generar la potencia necesaria para la molienda de caña. Utilizando factores de equivalencia y factores de conversión entre unidades de energía, tanto petróleo, electricidad comprada a la CFE y bagazo se convirtieron a una unidad común de energía (kW-h).

Resultados y discusión

Como se mencionó, los resultados que se presentan corresponden a datos de panel para un periodo de 10 años. El modelo se procesó utilizando el software DEAP 2.1 de Coelli (1996). El modelo incluyó finalmente dos productos y seis insumos. El modelo DEA ésta orientado al insumo con retornos constantes a escala. Las estadísticas descriptivas de las variables utilizadas en la investigación se muestran en el (Cuadro 2), para el periodo de estudio de 10 años para los 50 ingenios que se incluyeron en el estudio.

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas de las variables utilizadas

Variable	Promedio	Valor máximo	Valor mínimo	Desviación estándar
Azúcar producida por hectárea	8.26	16.54	1.86	2.71
Cachaza	134 153	480 421	11 027	87 408
Energía total consumida	573 740	1 884 582	87 691	295 193
Vehículos de acarreo	308	3071	13	265
Caña molida neta	929 659	2 570 587	122 682	481 133
Cortadores	1 348	4 368	24	820
Frentes de corte	26	173	2	23
Tiempo de zafra perdido	742	2 081	66	349

La descripción de las unidades de las variables es la dada en el Cuadro 1. Adaptado de CONADESUCA (2017).

De esta manera, se obtuvieron las medidas de cambio porcentual en los índices de eficiencia, innovación y cambio tecnológico y en la productividad total de los factores. La utilización del índice de productividad total de los factores permitió identificar dos grupos de ingenios. El primer grupo corresponde a aquellos para los cuales el referido índice resulta ser positivo y consta de 28 ingenios. Estos se muestran en el Cuadro 3 y se encuentran ordenados de mayor a menor índice de productividad total de los factores. Si la medida de cambio porcentual en el caso del cambio tecnológico es negativa, se tratará de una regresión tecnológica y los ingenios en los que hay tal regresión se muestran en el (Cuadro 3).

Cuadro 3. Medidas de cambio porcentual acumulativo en los componentes de la productividad total de los factores.

Núm.	Ingenio	Cambio en la eficiencia (%)	Cambio en innovación y cambio tecnológico (%)	Cambio en la productividad total de los factores (%)
1	El Dorado	4.4	21.7	27
2	El Carmen	8.3	2.8	11.3
3	Pujilic (Cia. La Fé)	5.6	3	8.7
4	El Potrero	3.9	4.3	8.4
5	Central Motzorongo	4	3.2	7.3
6	El Modelo	0.6	5.4	6
7	Constancia	4.5	1.3	5.9
8	Tres Valles	5.2	0.5	5.8
9	El Refugio	5.3	0.3	5.7
10	El Molino	0.7	4.3	5
11	San José de Abajo	4.1	0.1	4.2
12	Central Progreso	3.4	0.6	4
13	San Cristóbal	3.3	0.4	3.7
14	Santa Clara	-1	4.6	3.5

Núm.	Ingenio	Cambio en la eficiencia (%)	Cambio en innovación y cambio tecnológico (%)	Cambio en la productividad total de los factores (%)
15	Huixtla	0	3.1	3.1
16	Plan de Ayala	5.7	-2.4	3.1
17	La Gloria	1.1	1.9	3
18	El Mante	2.7	0.2	2.9
19	Lázaro Cárdenas	0	2.4	2.4
20	Tamazula	0	2.4	2.4
21	Central Casasano	0	2.1	2.1
22	Pedernales	-1.4	3.4	2
23	Melchor Ocampo	0	1.5	1.5
24	Bellavista	-0.1	1.2	1.1
25	Alianza Popular	0.5	0.5	1
26	San Francisco Ameca	-1.7	2.6	0.9
27	Adolfo López Mateos	2.9	-2.2	0.7
28	Santa Rosalía	0.9	-0.2	0.7
29	José María Morelos	-2	2.5	0.5

En el primer grupo, los dos ingenios con el más alto porcentaje de cambio en el índice de productividad total de los factores son El Dorado con 27% y El Carmen con 11.3%, El Dorado se ubica en Sinaloa y El Carmen en Veracruz. La contribución al alto porcentaje de cambio en la productividad total de los factores en El Dorado se da por el lado del progreso tecnológico e innovación (21.7%); es decir, por saltos de la frontera de producción a través del tiempo. En el caso del ingenio El Carmen la mayor contribución a la productividad total de los factores fue la mejora de la eficiencia a través del tiempo (8.3%).

En contraste a lo anterior, y como se muestra en el Cuadro 4, varios ingenios registraron en el periodo de estudio no solo un aumento en su ineficiencia técnica, sino también una regresión tecnológica. Los casos más evidentes son los ingenios de San Miguel del Naranjo y Plan de San Luis. En el caso del San Miguel del Naranjo su ineficiencia se incrementó en 10.2% y una regresión (más que progreso) tecnológica de 0.3%; por lo tanto, si la productividad total de los factores decreció en 10.4%; es decir, en el periodo de estudio no se obtuvo la producción (azúcar por hectárea y cachaza) que podría haberse obtenido con los insumos utilizados en el proceso productivo.

En el caso del ingenio Plan de San Luis su ineficiencia a lo largo de 10 años se incrementó en 8% con un progreso tecnológico (regresión) de 1.2%. Del análisis de los resultados del índice Malmquist de la productividad total de los factores se observa que 24 ingenios se encuentran por encima de la frontera eficiente, tres se encuentran sobre la misma y 25 debajo de la frontera eficiente.

Cuadro 4. Medidas de cambio porcentual acumulativo en los componentes de la productividad total de los factores.

Núm.	Ingenio	Cambio en la eficiencia (%)	Cambio en innovación y cambio tecnológico (%)	Cambio en la productividad total de los factores (%)
1	Atencingo	-8.1	8.5	-0.3
2	San Rafael de Pucté	-0.6	0.1	-0.5
3	Cuatotolapam (CIASA)	-0.7	0.2	-0.6
4	Mahuixtlán	-1.3	0.6	-0.7
5	El Higo	-2.2	1.3	-0.8
6	San Miguelito	-1	-0.2	-1.2
7	Tala (José Ma. Martínez)	-2.4	1	-1.4
8	Azsuremex	0	-1.9	-1.9
9	La Margarita	-3.8	1.8	-2.1
10	Quesería	-4.1	2.1	-2.1
11	La Joya	-3	0.6	-2.4
12	San Pedro	-2.9	-0.2	-3.1
13	Aarón Sáenz Garza	-1.8	-1.4	-3.2
14	Puga	0	-3.6	-3.6
15	Pánuco	-4.8	-0.2	-5
16	Emiliano Zapata	-4.2	-2.4	-6.6
17	San Nicolás	-7.2	0.6	-6.7
18	Presidente Benito Juárez	-6.6	-1	-7.6
19	Central La Providencia	-7.9	-0.1	-7.9
20	Plan de San Luis	-8	-1.2	-9.1
21	San Miguel del Naranjo	-10.2	-0.3	-10.4

Desempeño de la agroindustria de la caña de azúcar

Análogamente al caso del cambio en la eficiencia, el progreso tecnológico y la productividad total de los factores, es posible mostrar cómo se desempeñó la agroindustria de la caña de azúcar en las distintas zafras durante el periodo de estudio. Al igual que en el caso por ingenio, el indicador se expresa como una medida de cambio porcentual acumulativo según se muestra en el Cuadro 5. Éste cuadro da una visión completa de cómo se ha desempeñado la productividad total de los factores, la eficiencia técnica y el cambio tecnológico a lo largo del periodo de estudio. Algunos resultados contrastan. Entre las zafras 2010/2011-2011/2012 en toda la agroindustria se tuvo una ineficiencia de 15.4%. En cambio, se tuvo que la innovación y cambio tecnológico creció 8.8%. Por lo que la productividad total de los factores fue de -7.9% en el periodo entre zafras.

Cuadro 5. Productividad total de los factores entre periodos en la agroindustria de la caña de azúcar en México.

Periodo entre zafras	Cambio en la eficiencia (%)	Cambio en innovación y cambio tecnológico (%)	Cambio en la productividad total de los factores (%)
2006/2007-2007/2008	7.4	-3.6	3.5
2007/2008-2008/2009	-4.5	9.5	4.6
2008/2009-2009/2010	4.5	-7.1	-3
2009/2010-2010/2011	3.9	0.5	4.5
2010/2011-2011/2012	-15.4	8.8	-7.9
2011/2012-2012/2013	16.6	-10.1	4.8
2012/2013-2013/2014	-2.5	-2.1	-4.6
2013/2014-2014/2015	-3.2	5.7	2.3
2014/2015-2015/2016	-7.6	14	5.3

El cambio se refiere al periodo entre una y otra zafra por lo que solo se tienen nueve periodos y no 10 años. Fuente: elaboración propia en base a las corridas del DEAP 2.1.

Para poder comparar y discutir las estimaciones obtenidas para agroindustria azucarera en México, en el Cuadro 6 se presentan los resultados de cuatro países que utilizan datos de panel y procedimiento similar para estimar los índices de la productividad total de los factores y los dos en los que se descompone este indicador (eficiencia técnica y progreso tecnológico).

Cuadro 6. Cambios en la productividad de la caña de azúcar varios países.

Región	Cambio en la eficiencia técnica	Cambio en el progreso técnico	Cambio en la productividad total de los factores	Año de estudio	Orientación
China	1.002	0.88	0.894	2004-2013	Input
India	1.005	0.988	0.993	2004/2005- 2013/2014	Input
México	0.995	1.014	1.01	2006/2007- 2015/2016	Input
Pakistán	0.992	1.008	0.999	1998-2007	Output
Sudán	1.002	1.125	1.127	1999-2007	Output

En el caso de la evaluación del cambio en la productividad, eficiencia técnica y cambio tecnológico en China (Yet *et al.*, 2016), que utiliza datos de panel para un periodo de 10 años de la agroindustria de la caña de azúcar de las principales cuatro regiones productoras de ese país, la productividad total de los factores tuvo un retroceso, pues la tasa de crecimiento media fue de -10.6% por año. Esta regresión de acuerdo con Yet *et al.* (2016) menciona que se debió exclusivamente a la regresión tecnológica de -12% por año mientras que la eficiencia técnica creció en promedio en 0.2% por año.

Para la India, Singh (2016) calculó los indicadores para el periodo 2004/2005 - 2013/2014 de 40 compañías azucareras. En las conclusiones de la referida investigación se dice que la tasa de crecimiento de la productividad total de los factores en la agroindustria azucarera hindú fue negativa; es decir, para el periodo de estudio fue de -0.7%. La descomposición del índice de la

productividad total de los factores muestra que la tasa de crecimiento negativa de este indicador es debido a la regresión tecnológica, pues su índice para el caso hindú, tuvo una tasa de crecimiento media por año negativa de 1.2% mientras que el índice de cambio en la eficiencia técnica muestra que ésta creció en 0.5%.

En el caso de Pakistán, Raheman *et al.* (2009) calcularon los tres indicadores que se pueden estimar con el índice de Malmquist para agroindustria cañera de Pakistán para el periodo 1998-2007 de 20 ingenios cañeros. Para este país el índice de la productividad total de los factores decreció en -0.1%, que es explicado porque la eficiencia técnica decreció en -0.8% y la tasa crecimiento del progreso técnico fue de 0.8% por año.

En el caso de Sudán, Bushara y Moneim (2016) calcularon los tres indicadores que derivan a partir del índice de Malmquist se estimaron para la agroindustria de la caña de azúcar para el periodo 1999-2007. Los índices se calcularon para cuatro ingenios azucareros. La tasa de crecimiento de la productividad total de los factores para este país fue de 12.7% por año, la tasa de crecimiento de la eficiencia técnica de 0.2% y la tasa de cambio tecnológica creció en 12.5% por año.

Al comparar los resultados promedio obtenidos para obtenidos para México se observa que para los tres índices son muy similares con los otros países, a excepción de China donde el índice de la productividad total de los factores es muy diferente mostrando un retraso tecnológico. Es también de destacarse que para China e India los índices están orientados al input, mientras que Pakistán y Sudán los índices fueron calculados con orientación al output. De los países con los que se comparan los resultados de México, a excepción de Sudan, los otros tres mantienen una participación importante en la producción mundial de caña de azúcar, manteniéndose entre los primeros ocho lugares en términos de producción, superficie y rendimiento.

Conclusiones

Se concluye que de acuerdo con el índice de Malmquist, la productividad de los factores de la agroindustria de la caña de azúcar en México, en promedio en el periodo de análisis ha estado por arriba de la frontera eficiente de producción. El índice de la productividad total de los factores en promedio para el periodo de 10 años fue de 1.01. En el análisis por periodos de los índices de cambio en la eficiencia técnica y cambio tecnológico muestran que en ocho de los nueve periodos éstos índices se mueven en direcciones opuestas; es decir, en un mismo periodo puede haber una mejora en la eficiencia (índice mayor que 1) pero al mismo tiempo darse una regresión tecnológica (índice menor que 1).

La excepción es el cuarto periodo correspondiente al periodo entre zafras 2009/2010-2010/2011. El ingenio El Dorado destaca en el periodo de estudio porque su eficiencia productiva mejoró 4% y el cambio tecnológico muestra la incorporación de innovaciones pues el análisis en términos de cambio porcentual acumulativo del índice de innovación y cambio tecnológico fue 27% en el periodo de estudio. La productividad total de los factores creció en 27%. El ingenio con el menor desempeño fue San Miguel del Naranjo cuyo crecimiento acumulativo fue negativo para los tres índices. Su eficiencia fue negativa en 10.2%, tuvo una regresión tecnológica de 0.3% y su productividad fue negativa de 10.4%.

En este grupo de ingenios también están Plan de San Luis, Central la Providencia y Presidente Benito Juárez. Los resultados obtenidos para México con otros cuatro países permiten observar que las magnitudes de los índices para la productividad total de los factores, eficiencia técnica y cambio tecnológico son muy similares, excepto para China en cuyo caso se observa que la regresión tecnológica en el periodo de estudio es de 12% por año.

Literatura citada

- Banker, R. D.; Charnes, A. and Cooper, W. W. 1984. Some models for the estimation of technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Manag. Sci.* 30(9):1078-1092. Doi:10.1287/mnsc.30.9.1078.
- Bushara, M. and Moneim, A. S. 2016. Evaluation of total factor productivity of Sudanese sugar company farms: a non-parametric analysis 1999-2007. *Arabian J. Business Management Review.* 6(3):1-4. Doi: 10.4172/2223-5833.1000211.
- Caves, D. W.; Christensen, L. R. and Diewert, W. E. 1982. The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity. *Econometrica.* 50(6):1393-1414. Doi: 10.2307/1913388.
- Charnes, A.; Cooper, W. W. and Rhodes, E. L. 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *Eur. J. Operational Res.* 2(6):429-444. Doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8).
- Coelli, T. 1996. A guide to DEAP. Version 2.1: a data envelopment analysis (computer) program. Centre for efficiency and productivity analysis. University of New England, Australia. <http://www.owl.net.rice.edu/~econ380/DEAP.PDF>.
- Coelli, T. J.; Rao, D. S. P.; O'Donnell, C. J. and Battese, G. E. 2005. An introduction to efficiency and productivity analysis. Kluwer academic publisher. Boston, Massachusetts. 341 p.
- CONADESUCA. 2017. Comité nacional para el desarrollo sustentable de la caña de azúcar. Informe estadístico del sector agroindustrial de la caña de azúcar en México zafras 2006-2007/2015-2016. Ciudad de México, México. <https://www.gob.mx/conadesuca/articulos/informe-estadistico-del-sector-agroindustrial-de-la-cana-de-azucar-en-mexico-zafras-2006-2007-2015-2016?idiom=es>.
- Färe, R.; Grosskopf, S.; Norris, M. and Zhang, Z. 1994. Productivity growth, technical progress and efficiency change in industrialized countries. *American Economic Review.* 84(1):66-83. Doi: 10.2307/2117971.
- Färe, R. and Grosskopf, S. 2000. Theory and applications of directional distance functions. *J. Productivity Analysis.* 13(1):93-103. Doi: <https://doi.org/10.1023/A:1007844628920>.
- Farrell, M. J. 1959. The measurement of productive efficiency. *J. Royal Statistical Society.* 120(3):253-81. Doi: 10.2307/2343100.
- Huguenin, J. M. 2012. Data envelopment analysis (DEA). A pedagogical guide for decision makers in the public sector. Institut de hautes études en administration publique (IHEAP). Lausanne, swiss. https://serval.unil.ch/resource/serval:BIB_0FC432348A97.P001/REF.
- Kumar, S. and Arora, N. 2012. Evaluation of technical efficiency in Indian sugar industry: an application of full cumulative data envelopment analysis. *Eurasian journal of business and economics.* 5(9):57-78. <https://www.researchgate.net/publication/233627972-Data-envelopment-analysis-of-technical-efficiency-and-productivity-growth-in-the-US-Pacific-Northwest-sawmill-industry>.

- Lee, K. R. and Leem, B. I. 2010. Malmquist productivity index using DEA frontier in stata. The Stata J. 2(2):1-9. <https://www.cgdev.org/sites/default/files/archive/doc/stata/MO/DEA/malmq.pdf>.
- Malmquist, S. 1953. Index numbers and indifference curves. *Trabajos de estadística*. 4(1):209-42.
- Mikulás, L. 2010. *Mathematical optimization and economic analysis*. Springer. New York. 307 p.
- Raheman, A.; Qayyum, A. and Afza, T. 2009. Efficiency dynamic of sugar industry of pakistan. *The Pakistan Development Review*. 48(4):921-938. Doi: 10.30541/v48i4Ipp.921-938.
- Rein, Peter. 2012. *Ingeniería de la caña de azúcar*. Verlag, Albert Bartens. Berlin, Germany. 850 p. https://mpira.ub.uni-muenchen.de/28578/1/MPRA_paper_28578.pdf.
- SAGARPA. 2005. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Ley de desarrollo sustentable de la caña de azúcar. Diario Oficial de la Federación (DOF) del 22 de agosto de 2005. México, DF.
- SAGARPA-CONADESUCA. 2014. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación-comité nacional para el desarrollo sustentable de la caña de azúcar. Programa Nacional de La Agroindustria de la Caña de Azúcar (PRONAC). Diario Oficial de la Federación (DOF) 02 de mayo de 2014. México, DF.
- SIAP-SAGARPA. 2018. Servicio de información agroindustrial y pesquera-secretaria de agricultura, ganadería. Desarrollo rural, pesca y alimentación. Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional por cultivo. <http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola-siap-gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do>.
- Shephard, R. W. 1970. *Theory of cost and production function*. Princeton University Press. Princeton. 324 p.
- Singh, S. P. 2016. Technical change and productivity growth in the Indian sugar industry. *Procedia Economics and Finance*. 39(1):131-139. Doi: 10.1016/s2212-5671(16)30257-x.
- Thanassoulis, E. 2001. *Introduction to the theory and application of data envelopment analysis. A foundation text with integrated software*. Kluwer academic publishers. Norwell, Massachusetts. 296 p.
- Yet, J.; Que, Y. X.; Li, Y. R. and Xu, L. P. 2016. Evaluating sugarcane productivity in China over different periods using data envelopment analysis and the malmquist index. *Sugar Tech*. 18(1):478-487. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12355-016-0427-0>.