

PRODUCTIVIDAD TOTAL DE LOS FACTORES EN LA AGROINDUSTRIA CAÑERA POR ENTIDAD FEDERATIVA EN MÉXICO ZAFRAS 2010/2011-2019/2020

Jorge Antonio Peralta-González^{1*}, Ramón Valdivia-Alcalá¹, Cristobal Martín Cuevas-Alvarado², Francisco Pérez-Soto¹

¹Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Texcoco, Estado de México, México. 56264.

²Consultor/investigador independiente. Arboledas 28, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. 56264.

*Autor de correspondencia: jorgeaperaltag@gmail.com

RESUMEN

En México, en el periodo de 2011 a 2020, la producción de caña de azúcar molida neta creció 1.1%, la superficie industrializada 1.5%, el rendimiento en campo -0.4% y la eficiencia en fábrica -0.2%. La producción de caña de azúcar, ha crecido por el aumento de superficie y no por cambio tecnológico. El objetivo del trabajo, fue verificar empíricamente, si el cambio tecnológico y la eficiencia técnica, se han estancado o existido una regresión tecnológica a nivel de las 15 entidades federativas productoras para el periodo de 2011 a 2020. La metodología utilizada, ha sido el Índice de Malmquist, que se puede descomponer en varios indicadores. Los resultados muestran, que la afirmación, de que el incremento sostenido de la producción de caña de azúcar y azúcar estándar, se debe exclusivamente, al crecimiento extensivo basado en la superficie no es del todo correcta. Los hallazgos muestran que, entre periodos en promedio, la eficiencia técnica creció en 0.1%, el cambio tecnológico en 2.0% y la productividad total de los factores en 2.1%. Como datos de panel, el promedio para todas las entidades, es de la misma magnitud. A nivel entidad, el análisis permitió detectar que, en Colima, los tres indicadores son de 0.0%, siendo un estancamiento completo. En Sinaloa, el cambio tecnológico fue de 12.5%, que refleja una verdadera incorporación de innovaciones y mejoras tecnológicas. Tabasco, es el único estado donde existieron mejoras de eficiencia (2.0%), cambio tecnológico (2.4%) y productividad total de los factores (4.4%).

Palabras clave: análisis de datos envolventes, cambio tecnológico, eficiencia técnica, índice de Malmquist.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), pertenece a la familia de las gramíneas, el grupo de plantas de mayor importancia económica en el mundo (Pérez, 2022). Se produce en diversas regiones del mundo, en 2023, se cultivó en 96 países; las principales naciones productoras fueron Brasil y La India con 37 y 23% de la producción total. Por su parte, México produjo 2.63%, ocupando el séptimo lugar a nivel mundial (FAO- Food and Agriculture Organization, 2025). La caña de azúcar, es el tercer cultivo más importante en México en cuanto al valor de la producción, seguido únicamente, por el maíz grano y el aguacate, representó cerca de 7% del valor total de la producción nacional

Citation: Peralta-González JA, Valdivia-Alcalá R, Cuevas-Alvarado CM, Pérez-Soto F. 2025. Productividad total de los factores en la agroindustria cañera por entidad federativa en México zafas 2010/2011-2019/2020. Agricultura, Sociedad y Desarrollo <https://doi.org/10.22231/asyd.v22i2.1652>

ASyD(22): 159-178

Editor in Chief:

Dr. Benito Ramírez Valverde

Received: September 29, 2023.

Approved: 25 de enero de 2024.

Estimated publication date:

April 10, 2025.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non- Commercial 4.0 International license.



(SIAP- Servicio de Información Agroindustrial y Pesquera, 2025). De acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2021), en México, existen más de 800 mil hectáreas cultivadas con caña de azúcar, en más de 267 municipios de 15 estados de la República Mexicana. Los principales estados productores en 2023, fueron Veracruz, Jalisco, San Luis Potosí, Oaxaca y Chiapas con 32, 14, 10, 8 y 6% de la producción nacional respectivamente, estos estados producen cerca de 70% de la producción total en México; cabe destacar, que el estado con el mayor rendimiento fue Puebla, con cerca de 106 ton/ha; por el contrario, Tamaulipas, tiene el menor rendimiento con 49 ton/ha (SIAP, 2025).

El cultivo de la caña de azúcar en México, tiene cuatro usos principalmente: producción de azúcar, forraje, fruta y para la producción de piloncillo (Castillo *et al.*, 2018). La presencia de ingenios azucareros, ha permitido la transformación, el procesamiento y la refinación del cultivo (Alvarado-Silva y Bustamante-Lara, 2022). La producción del azúcar en los ingenios, como parte del proceso de transformación de la caña, inicia desde la recepción (la cual es cortada manual o mecánicamente en el campo), limpieza de la caña, molienda, clarificado, evaporación, cristalización, centrifugación, refinación y almacenamiento (Hernández-Cázares, 2014).

En México, la producción del azúcar base estándar, en la última década (2011-2020), ha crecido a una tasa promedio anual de 1.7%, mientras que la producción de caña de azúcar industrializada, lo ha hecho en 10.7% (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar-CONADESUCA, 2020a). Esto, ha permitido garantizar la autosuficiencia de este bien básico que es consumido como edulcorante por la toda la población, sea de altos o bajos ingresos y es importante también, como insumo intermedio para la industria refresquera, panificadora, entre otras. En la actualidad, a nivel de entidad federativa, Veracruz tiene 18 de los 50 ingenios azucareros que operaron en la zafra 2019/2020 y la mayor superficie cosechada de caña industrializada en la misma zafra (CONADESUCA, 2020b). La zafra, es el tiempo que dura el proceso mediante el cual se cosecha la caña y se produce el azúcar, comienza en noviembre y finaliza en julio (Castillo *et al.*, 2018).

El CONADESUCA (2020a), señala que durante el periodo 2007-2018, la superficie cosechada e industrializada de caña de azúcar observó una tasa de crecimiento media anual de 1.5%, mientras que el rendimiento en campo y la eficiencia en fábrica, prácticamente permanecieron estancados, lo que implica que, la producción de azúcar creció de manera extensiva y no por incremento de la productividad del campo cañero o los ingenios azucareros.

La investigación, tiene como objetivo, analizar la evolución de la eficiencia técnica, el cambio tecnológico y la productividad total de los factores en el cultivo de la caña de azúcar para el periodo de zafra de 2010-2011 a 2019-2020, en las 15 entidades federativas en las que se cultiva la caña de azúcar en México.

Como hipótesis, se planteó que el crecimiento sostenido del azúcar estándar, puede ser atribuido a un crecimiento extensivo, más que a una incorporación de mejoras tecnológicas y mejor administración de los insumos en los eslabones del proceso productivo implicados en la obtención de dicho edulcorante.

MARCO TEÓRICO

La escuela neoclásica, centra su atención en la optimización y asignación eficiente de los factores productivos, puesto que, los recursos productivos son escasos, mientras que las necesidades de la sociedad son ilimitadas. En el proceso de producción, las empresas transforman los factores de producción en productos, estos factores se clasifican comúnmente en trabajo, materia prima y capital (Pindyck y Rubinfeld, 2009); utilizan diferentes combinaciones de factores que dependerá del nivel de tecnología con que cuenten (Varian, 2010). La relación entre los factores de producción y la producción resultante, se puede describir por medio de una función de producción, la cual muestra el nivel de producción (q) máximo que puede obtener la empresa con cada combinación específica de factores (Pindyck y Rubinfeld, 2009), de manera simplificada, se clasifican comúnmente en trabajo (L) y capital (K).

Por lo tanto, la función de producción, se puede expresar de la siguiente manera:

$$q = f(K, L)$$

Varian (2010), supone que se tiene un único factor medido por x , y un único producto medido por y . Por lo tanto, resulta una función de producción más simplificada:

$$y = f(x)$$

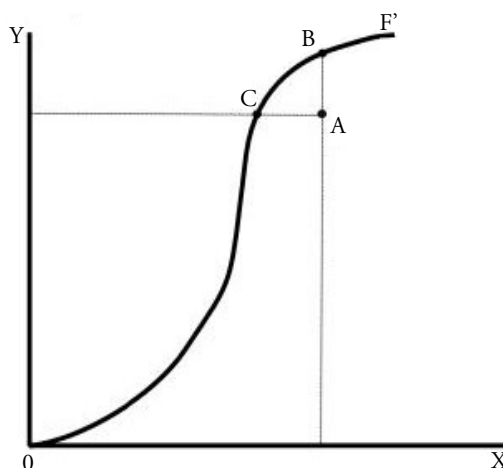
Esta última función de producción, será útil más adelante, para ilustrar los conceptos de productividad, eficiencia y cambio tecnológico. La productividad de una determinada unidad productiva, se define como la relación existente entre los resultados que obtiene y los recursos involucrados en su producción (Katharakis y Katharakis, 2010). Fontalvo *et al.* (2018), además de los recursos o factores internos de la empresa que son controlables, también menciona que la productividad, depende de factores externos que no se pueden controlar como lo son los cambios económicos y demográficos, recursos naturales y políticas públicas. Para analizar la productividad, se identifican dos enfoques: el de la productividad parcial y el de la productividad total de los factores (PTF). El primer enfoque, compara los cambios en el producto total, asociados a cambios de factores productivos específicos, como el capital o el trabajo, considerando así productividades individuales, mientras que el enfoque de la PTF, compara los cambios en el producto total, asociados a cambios en todos los factores productivos (Candia *et al.*, 2016).

La PTF, medida a través del índice Malmquist, se redefine como el efecto neto de los cambios de la eficiencia técnica (o movimientos relativos a la frontera existente) y los cambios en la frontera de producción (o el cambio tecnológico) entre dos periodos de tiempo, bajo el marco de múltiples entradas y múltiples salidas (Cooper *et al*, 2007). Los términos eficiencia técnica y cambio tecnológico, se explican a continuación.

La eficiencia, tiene que ver con la proporción del valor de la producción con respecto al valor del insumo o factor productivo (Heyne, 1998). De acuerdo con Silvestre y Chamú (2015), la eficiencia, ha sido abordado desde dos puntos de vista: el económico y el técnico. El primero de ellos, se relaciona con el cociente, entre los resultados económicos obtenidos y los recursos financieros invertidos en su obtención; y el segundo, con el cociente entre la producción de un periodo y el uso de los factores productivos necesarios; generalmente, esta medida, no se calcula en unidades monetarias, sino físicas.

La eficiencia técnica, se observa gráficamente en la Figura 1, la línea OF, representa una frontera de producción, la cual, indica el máximo producto obtenible para cada nivel de insumo. La empresa, opera sobre la frontera de producción, si es técnicamente eficiente (punto B y C) o debajo de ella, si es técnicamente ineficiente (punto A). La empresa que opera en el punto A es ineficiente, porque podría incrementar el nivel de producto asociado con el punto B, sin requerir cantidades adicionales de insumo.

Por su parte, el cambio tecnológico, se observa necesariamente en un contexto dinámico y esto implica que, la relación de utilización de insumos y el producto generado, cambian a lo largo del tiempo. La forma usual de representar el cambio tecnológico, consiste en un desplazamiento de la función de producción, suponiendo que existe una relación estable entre el producto,



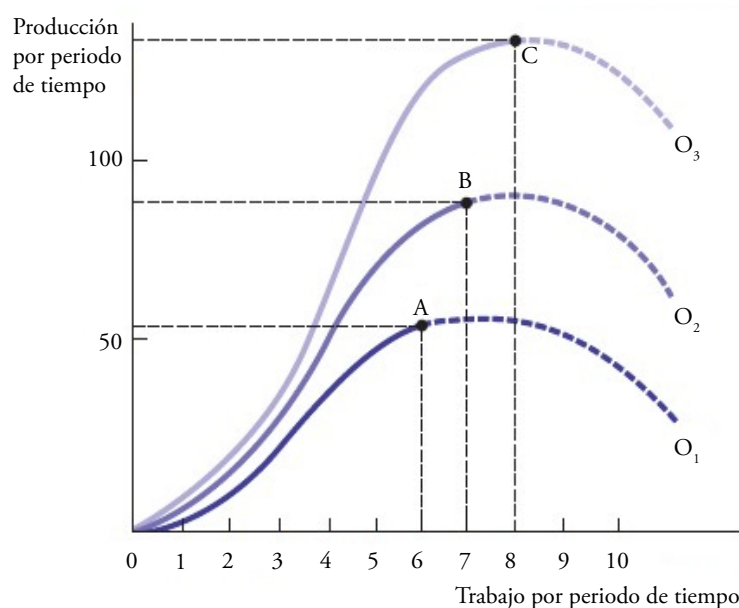
Fuente: Coelli *et al*. (2005).

Figura 1. Frontera de Producción y Eficiencia Técnica.

los insumos y el tiempo (Lema y Brescia, 2001). En la Figura 2, se puede observar este cambio, inicialmente, la curva de producción viene dada por O_1 , pero las mejoras de la tecnología, pueden permitir que esta se desplace en sentido ascendente, primero a O_2 y después a O_3 (Pindyck y Rubinfeld, 2009).

En la producción agrícola, existen tres tipos de factores que influyen en su rendimiento, estos son: el manejo agronómico, las condiciones ambientales de la región de cultivo y las características genéticas de la semilla utilizada (Hartfield y Walthall, 2015). Además de ello, Galván (2022) identifica dos vertientes para el incremento de la productividad agrícola. Una de ellas, se enfoca en incrementar el volumen de la producción, implementando tecnologías e innovaciones que habiliten a las unidades alcanzar economías de escala, que les permita participar en mercados de exportación, incrementando su rentabilidad, accediendo a mejores precios y aumentando el margen de ganancia. La segunda, es implementando prácticas sustentables que reduzcan los costos de producción e incrementen la rentabilidad de los productos nacionales.

Castelán-Estrada *et al.* (2016), exponen una inducción al Modelo de Alta Rentabilidad en caña de azúcar (MAR), el cual comprende el diagnostico de suelo, agua, drenaje; sistema de labranza y preparación de suelo, alta densidad y fecha ideal de siembra, selección de variedades y semillas adecuadas, fertilización balanceada, manejo de agua y drenaje, manejo integrado de plagas, incluye malezas; preparación para cosecha y cosecha mecanizada en verde. Por su parte, Aquino *et al.* (2018), identificaron las principales variables que influyen



Fuente: Pindyck y Rubinfeld (2009).

Figura 2. El efecto de la mejora tecnológica.

en el rendimiento de la caña de azúcar en México. Dentro de los factores ambientales, se encontró las heladas y la presencia de Roya café. En las variables de manejo, se encontró que la renovación de los campos cañeros, a pesar de que sean de temporal, favorece el rendimiento. En los factores genéticos, la superficie cosechada con la variedad MY 55-14, resultó significativa; dicha variedad, es de maduración temprana a intermedia, en campos experimentales se ha logrado un rendimiento por arriba de las 180 ton/ha. Al mismo tiempo, la agroindustria de la caña de azúcar, ha tenido una serie de ineficiencias y atrasos tecnológicos, que han repercutido en su rentabilidad y probablemente influir en el cierre de 22% de los ingenios existentes, en un periodo de 19 años (Valdivia, 2022). Asimismo, CONADESUCA (2024) afirma que, en algunas fábricas, los procesos e insumos que se emplean para transformar la caña de azúcar, son los mismos que se han utilizado desde hace muchos años y la aplicación de nuevas tecnologías, es aún incipiente. Coexisten ingenios modernos y eficientes con ingenios viejos e ineficientes. Hernández-Cázares (2014), menciona que, para incrementar la eficiencia técnica en la agroindustria azucarera, se tienen que incluir desde innovaciones en la producción primaria, hasta la adopción de nuevas tecnologías.

Por lo tanto, resulta de interés estimar cuantitativamente, la eficiencia técnica y el cambio tecnológico en cada uno de los estados productores de caña de azúcar en México. La metodología utilizada para cuantificar la productividad total de los factores, es el método del índice de Malmquist, el procedimiento se basó en Färe *et al.* (1994), Coelli *et al.* (2005); Coelli y Prasada (2005). El enfoque del índice de Malmquist, se basa en el análisis envolvente de datos (DEA), para construir una frontera de producción por “trozos” para cada año del conjunto de datos. El DEA, se basa en la programación lineal, que utiliza datos de cantidades de insumos y productos, en este caso, de un grupo de 15 entidades federativas, para construir una superficie lineal por “trozos” sobre los puntos de datos. Esta superficie de frontera, es construida por la solución de una secuencia de problemas de programación lineal para cada estado, en el periodo muestral de 2010-2011 a 2019-2020. El grado de ineficiencia técnica de cada estado, la distancia entre el punto de datos observados y la frontera, es producida como un subproducto del procedimiento de la construcción de la frontera (Coelli y Prasada, 2005).

El DEA, puede ser orientado al insumo u orientado al producto. En el primer caso, el método del DEA, busca el máximo incremento proporcional, manteniendo constantes los niveles de los productos para cada estado. En el caso del DEA orientado al producto, se busca el incremento máximo proporcional en la producción de los productos con los niveles de los insumos constantes. Ambas medidas, proveen los mismos puntajes de eficiencia técnica cuando se aplica una tecnología con rendimientos constantes a escala (CRS), pero son diferentes, cuando se asumen rendimientos variables a escala (VRS) (Coelli

et al., 2005; Coelli y Prasada, 2005). En este estudio, se asumen rendimientos constantes a escala y se ha elegido el DEA orientado al producto, porque se considera que, en la agricultura, usualmente, se busca maximizar el producto, dado un conjunto de insumos más que el caso contrario.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información utilizada en esta investigación, se obtuvo principalmente de CONADESUCA (2020a), CONADESUCA (2020b), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2021) y de la Compañía Editora del Manual Azucarero Mexicano (CEMA, 2017). El software utilizado para realizar la estimación de los índices de Malmquist, fue el CRAN-R 4.0. El conjunto de datos utilizado para correr los modelos de programación lineal del DEA, a partir de los que se obtienen los índices de la productividad total de los factores (TFP) para cada Unidad de Toma de Decisiones (UDM), es un conjunto de datos de panel balanceado, del cual, su dimensión temporal corresponde a 10 periodos que van de la zafra 2010-2011 a la zafra 2019-2020, mientras que su dimensión transversal, corresponde a las 15 entidades federativas (UDM) en las que se cultiva la caña de azúcar en México. La definición de las variables utilizadas en el estudio (Cuadro 1), sus unidades y si las mismas corresponden a un producto o a un insumo.

Las unidades de las variables utilizadas, corresponden a las definidas en CONADESUCA (2020), excepto para la variable energía total consumida (ENTOCO). En caso de la variable ENTOCO, se agregaron las variables de bagazo neto producido (toneladas), petróleo total consumido (litros) y la energía eléctrica adquirida a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), para poder expresar en una sola variable, las fuentes de energía que se utilizan para operar las calderas y equipo físico relacionado con la molienda de la caña. Se parte del

Cuadro 1. Variables utilizadas en el estudio.

Variable	Descripción	Unidades	Tipo
PTABEST	Azúcar producida total base estándar	Toneladas	Producto
GELECT	Generación de energía eléctrica	MW h ⁻¹	Producto
GEVAP	Generación de vapor	Toneladas	Producto
VACARRE	Vehículos de acarreo	Camión	Insumo
CORTAD	Cortadores	Personas	Insumo
ENTOCO	Energía total consumida	MW h ⁻¹	Insumo
KARBET	Kilos de azúcar recuperable base estándar teórico	kg/tCB	Insumo
CAMOLBR	Caña molida bruta	Toneladas	Insumo
SUPCIND	Superficie de caña industrializada	Hectáreas	Insumo
TINETZA	Tiempo neto de zafra	Horas	Insumo

Nota: MW h⁻¹: Megavatio-hora; kg/tCB: kilogramos de azúcar por tonelada de caña bruta.
Fuente: elaborado con base en CONADESUCA (2020).

supuesto que, todo el bagazo neto, se utiliza como combustible en la molienda de la caña.

El procedimiento para la agregación fue el siguiente. Para la conversión del bagazo a energía eléctrica, se tomó el bagazo obtenido por hectárea y se multiplicó por la superficie total cosechada, para obtener el bagazo total por estado. Al bagazo total, se le restó el bagazo empacado y vendido para tener el bagazo total neto. De acuerdo a Secretaría de Energía (SENER) (2017), una tonelada de bagazo equivale a 1,684,990 kilocalorías (kcal), lo que, a su vez, equivale a 7,054.7161 megajoules (MJ). Por lo tanto, al multiplicar la cantidad de bagazo por esta cantidad, se obtiene la equivalencia de toneladas de bagazo en MJ. Dado que se conoce que un MJ equivale a 0.277778 kilovatios-hora (kWh), al realizar la respectiva multiplicación, se obtuvo la equivalencia de bagazo quemado en energía eléctrica. Para el caso del petróleo, SENER (2017), señala que un barril de petróleo, equivale a 158.9872 litros, por lo que se convirtió el petróleo total consumido en cada entidad federativa, durante la respectiva zafra, a barriles de petróleo. Análogamente, SENER (2017) indica que un barril de petróleo de 158.9872 litros, equivale a 1,469,600 kcal, por lo que convirtieron los barriles de petróleo consumidos a kcal. Dado que el factor de conversión de una kcal a MJ es de 0.0042, convirtiendo las kcal a MJ, de manera similar el bagazo, fue convertido de los MJ a kWh. Finalmente, para facilitar la interpretación de las variables energía total consumida y energía eléctrica generada, se expresaron en megavatios hora (MW-h).

En lo referente a la variable llamada kilos de azúcar recuperable base estándar (KARBE), es una variable que utiliza el CONADESUCA, para definir el precio de referencia por tonelada de caña de azúcar. En Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDERSSA, 2019), se hace una explicación más amplia de cómo se utiliza el KARBE, para definir tal precio de referencia pagado al productor de caña de azúcar, mientras que en CONADESUCA (2016), se explica con detalle, la fórmula técnica para obtener el KARBE.

La metodología utilizada para cuantificar la productividad total de los factores, fue el método del Índice de Malmquist.

De esta manera, dados los datos de N entidades federativas en un periodo particular de tiempo, entonces el problema de programación lineal que se debe resolver para el i -ésimo estado bajo el DEA orientado al producto, se plantea como sigue:

$$\begin{aligned} \max_{\phi, \lambda} \quad & \phi \\ \text{Sujeto a} \quad & -\phi y_i + Y\lambda \geq 0 \\ & x_i - X \geq 0 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

donde y_i es un vector $M \times 1$ de las cantidades de producto para el i -ésimo estado; x_i es un vector $K \times 1$ de las cantidades de insumos para el i -ésimo estado; Y es una matriz $N \times M$ de las cantidades de productos de todos los N estados; X es una matriz $N \times K$ de las cantidades de insumos de todos los N estados; λ es un vector $N \times 1$ de los ponderadores; ϕ es un escalar.

En este problema de programación lineal ϕ un valor mayor que la unidad o igual a la unidad y $(\phi - 1)$, es el incremento proporcional en los productos que podrían obtenerse por el i -ésimo estado, si todas las cantidades de insumos se mantienen constantes. Se puede observar también que la relación $1/\phi$, define un puntaje de eficiencia técnica que varía entre cero y la unidad. Este problema de programación lineal, se resuelve N veces, es decir, una vez para cada país en el periodo muestral. La solución de cada problema de programación lineal, produce un vector de valores para ϕ y λ . El vector de parámetros ϕ , proporciona información sobre el puntaje de eficiencia técnica para el i -ésimo estado y el vector λ , provee información sobre los países de comparación de la i -ésima entidad federativa ineficiente. Los estados que sirven como comparación, son las entidades federativas eficientes, que ayudan a definir la frontera eficiente contra la cual se proyectan el i -ésimo país ineficiente (Coelli y Prasada, 2005). Ahora bien, el Índice Malmquist de la productividad total de los factores, se define utilizando las funciones de distancia. Las funciones de distancia, describen una tecnología de producción multiproducto y multiinsumo, sin la necesidad de especificar un objetivo de comportamiento, tal como la minimización de costos o la maximización de ganancias. Ambos tipos de funciones, se pueden definir como sigue. Una función de distancia de los insumos, caracteriza a la tecnología de producción, buscando una mínima contracción del vector de insumos, dado el vector de productos. La función de distancia de los productos, considera una expansión proporcional máxima, dado el vector de insumos (Coelli y Prasada, 2005).

Una función de distancia de los productos, se puede caracterizar como sigue: Una tecnología de producción, puede ser definida usando un conjunto de productos $P(x)$, la cual, representa el conjunto de todos los vectores de productos y , el cual puede ser producido usando el vector de insumos, x . Es decir

$$P(x) = \{y : x \text{ can produce } y\}$$

La función de distancia de los insumos, es definida sobre el conjunto de insumos, $P(x)$, como:

$$d_0(x, y) = \min \{ \delta : (y / \delta) \in P(x) \}$$

De acuerdo con Coelli y Prasada (2005), la función de distancia, $d_0(x, y)$, tomará un valor menor o igual a la unidad, si el vector de productos y , es un elemento

del conjunto de producción $P(x)$. Adicionalmente, la función de distancia tomará un valor de la unidad si y estará localizado sobre el borde exterior del conjunto de producción factible, y tomará un valor mayor que uno si y está localizado fuera, pero por encima del conjunto de producción factible. El método del DEA, es comúnmente usado para calcular tales medidas de distancia, las cuales, se describen de manera muy breve a continuación.

El índice de la productividad total de los factores de Malmquist, mide el cambio de la TFP entre dos puntos de datos; por ejemplo, los de un país en particular en dos períodos de tiempo adyacentes, calculando la relación de las distancias de cada punto de datos, en relación con una tecnología común. De acuerdo a Fare *et al.* (1994), el índice de cambio de la PTF de Malmquist (orientado al producto), entre el período s (el período base) y el período t está dado por:

$$m_o(y_s, x_s, y_t, x_t) = \left[\frac{d_o^s(y_t, x_t)}{d_o^s(y_s, x_s)} x \frac{d_o^t(y_t, x_t)}{d_o^t(y_s, x_s)} \right]^{1/2}$$

donde la notación $d_o^2(x_t, y_t)$ representa la distancia desde la observación del período t hasta la tecnología del período s . Un valor m_o mayor que 1, indicará un crecimiento positivo de la TFP desde el periodo s hasta el periodo t , mientras que un valor menor que la unidad, indica una declinación de la TFP. Es importante observar, que la expresión anterior en la práctica, es la media geométrica de dos índices de la TFP. El primer índice, es evaluado con respecto a la tecnología del periodo s y el segundo índice, se evalúa con respecto a la tecnología del periodo t (Coelli y Prasada, 2005).

Una forma equivalente de expresar el Índice de Malmquist de la TFP, es

$$m_o(y_s, x_s, y_t, x_t) = \frac{d_o^t(y_t, x_t)}{d_o^s(y_s, x_s)} \left[\frac{d_o^s(y_t, x_t)}{d_o^t(y_t, x_t)} x \frac{d_o^s(y_s, x_s)}{d_o^t(y_s, x_s)} \right]^{1/2}$$

donde la relación que multiplica a la expresión entre corchetes, mide el cambio en la medida orientada al producto de la eficiencia técnica de Farrell (1957), entre los periodos s y t . Es decir, el cambio en la eficiencia, es equivalente a la relación de la eficiencia técnica en el periodo t y la eficiencia en el periodo s . La parte entre corchetes, es una medida del cambio técnico, que es también la media geométrica del cambio en la tecnología entre los dos periodos, evaluado en x_t y también en x_s .

Ahora bien, en Coelli y Prasada (2005), quienes citan a Färe *et al.* (1994) y dado que en este estudio se cuenta con datos de panel, las medidas de distancias para el Índice Malmquist de la TFP, son calculados usando programas lineales similares a los modelos DEA: para el i -ésimo estado, se calculan

cuatro funciones de distancia, con el propósito de medir en cambio en la TFP entre dos periodos, s y t . Esto requiere la resolución de cuatro problemas de programación lineal. Los referidos problemas de programación lineal son:

(1) $\left[d_o^t(y_t, x_t) \right]^{-1} = \max_{\phi, \lambda} \phi$ Sujeto a $-\phi y_{it} + Y_t \lambda \geq 0$ $x_{it} - X_t \lambda \geq 0$ $\lambda \geq 0$	(2) $\left[d_o^s(y_s, x_s) \right]^{-1} = \max_{\phi, \lambda} \phi$ Sujeto a $-\phi y_{is} + Y_s \lambda \geq 0$ $x_{is} - X_s \lambda \geq 0$ $\lambda \geq 0$
(3) $\left[d_o^s(y_s, x_s) \right]^{-1} = \max_{\phi, \lambda} \phi$ Sujeto a $-\phi y_{is} + Y_s \lambda \geq 0$ $x_{is} - X_s \lambda \geq 0$ $\lambda \geq 0$	(4) $\left[d_o^t(y_t, x_t) \right]^{-1} = \max_{\phi, \lambda} \phi$ Sujeto a $-\phi y_{it} + Y_t \lambda \geq 0$ $x_{it} - X_t \lambda \geq 0$ $\lambda \geq 0$

Como se puede observar en (3) y (4), donde los puntos de producción son comparados con tecnologías de diferentes periodos de tiempo, no es necesario que el parámetro ϕ sea mayor o igual a 1, como debe ser cuando se calculan las eficiencias técnicas estándar orientadas a los resultados. Los puntos de datos, pueden estar por arriba de la frontera de producción, lo cual ocurre más probablemente, en el problema de programación lineal (4), donde un punto de producción del período t , se compara con la tecnología en un período anterior, s . Si el progreso técnico ha ocurrido entonces, un valor de ϕ menor que la unidad es posible. También debe observarse que podría ocurrir que en el modelo (3), si ocurre una regresión tecnológica, lo cual es menos probable.

Ahora bien, un tópico importante, es el de las propiedades de los rendimientos a escala de la tecnología, son muy importantes en la medida de la TFP. En primer lugar, en esta investigación, se utilizaron rendimientos constantes a escala, debido a que, en la mayoría de los casos, se utilizan datos agregados a nivel estado, excepto en Campeche, Colima y Quintana Roo, donde solo operó un ingenio azucarero durante el periodo de estudio y, por lo tanto, los datos del respectivo ingenio, corresponden a los datos estatales. En segundo lugar, se utilizaron rendimientos constantes a escala, dado que este supuesto, es aplicable tanto a nivel empresa, como a datos agregados (Coelli y Prasada, 2005).

RESULTADOS

Los resultados que se han obtenido del conjunto de datos de panel, balanceados de las zafra 2010-2011 y 2019-2020, para los 15 estados en los que se produce caña para la producción de azúcar como edulcorante, se presentan a continuación, así como los estadísticos descriptivos de las variables utilizadas en la investigación (Cuadro 2).

Dado que se trata de un conjunto de datos balanceados, el número total de observaciones es 150 para 15 unidades de sección transversal (N) y 10 períodos de tiempo (T). Las unidades de sección transversal, corresponden a las 15 entidades federativas en las que se cultiva la caña de azúcar y los 10 periodos de tiempo, corresponden a las 10 zafra del estudio; es decir, de la zafra 2010-2011 a la zafra 2019-2020. Por lo tanto, en el Cuadro 2, se muestran tres tipos diferentes de estadísticos descriptivos: los estadísticos “Totales”, basados en las 150 observaciones; los estadísticos “Entre”, que son los estadísticos de resumen de las variables de los 15 estados; y los estadísticos “Dentro de”, que representan las mediciones de los 10 períodos de tiempo. No obstante, dado que los estadísticos descriptivos “Dentro de” en ocasiones, presentan valores promedio negativos, no se incluyen en el Cuadro 2. Esto ocurre normalmente, en datos de panel y no porque el procedimiento de cálculo sea erróneo, no obstante, para el presente estudio estos estadísticos no revisten interés.

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de las variables de panel del estudio.

Variable		Media	Desv. estándar	Valor mínimo	Valor máximo
PTABEST	Total	394,341	527,877	25,799	2,628,598
	Entre		537,419	66,392	2,216,537
GELECT	Total	69.4	111.0	5.4	652.3
	Entre		109.0	14.2	449.6
GEVAP	Total	1,866,331	2,666,168	133,641	13,500,000
	Entre		2,722,152	381,758	11,300,000
VACARRE	Total	1,089	1,705	84	7,735
	Entre		1,736	191	7,204
CORTAD	Total	4,857	8,319	13	37,597
	Entre		8,508	876	34,888
ENTOCO	Total	297,000,000	902,000,000	419,474	4,180,000,000
	Entre		919,000,000	5,679,461	3,600,000,000
KARBET	Total	112.92	10.953	83.694	139.091
	Entre		10.437	94.940	136.176
CAMOLBR	Total	3,505,829	4,790,749	264,043	23,700,000
	Entre		4,884,633	719,076	20,200,000
SUPCIND	Total	51,065	73,725	2,984	332,186
	Entre		75,763	9,505	312,950
TINETZA	Total	278,604	335,737	36,416	1,796,221
	Entre		342,785	68,991	1,444,790

Fuente: elaboración propia con base a la salida del CRAN-R.

Ahora bien, el Índice de Malmquist, se puede descomponer en varios indicadores: el indicador de cambio en la eficiencia técnica, el indicador de cambio tecnológico (o cambio de la frontera eficiente de producción) y el indicador de la productividad total de los factores. Estos tres indicadores, se pueden calcular tanto para el cambio entre periodos (entre zafras) y para cada año, para cada una de las unidades de toma de decisiones que, en este caso, corresponden a las 15 entidades federativas donde se cultiva la caña de azúcar.

Se obtuvieron los resultados del cambio porcentual entre periodos para los tres indicadores en que se descompone el Índice de Malmquist: cambio en la eficiencia técnica, cambio tecnológico y cambio en la productividad total de los factores (Cuadro 3). Si la medida de cambio porcentual resulta ser positiva, representa un avance en la eficiencia técnica, un avance tecnológico o bien, un incremento en la productividad total de los factores. Caso contrario, si la medida de cambio porcentual resulta un valor negativo, significa un retroceso en dichos indicadores.

El cambio promedio en la eficiencia técnica entre periodos, fue de 0.1%, del cambio tecnológico de 2.0% y de la productividad total de los factores del 2.1%. La eficiencia técnica, presentó su mayor retroceso entre la zafra 2011/12 a la zafra 2012/13 con un cambio de -0.7%; también presentó retrocesos en las zafras 2015/16-2016/17 y 2018/19-2019/20, con un -0.2%. Las zafras 2010/11-2011/12 y 2012/13-2013/14, tuvieron el mayor incremento en la eficiencia técnica con un 0.9%. Las zafras 2014/15-2015/16 y 2017/18-2018/19, no presentaron cambios en la eficiencia técnica.

En el caso del cambio tecnológico, si bien se observaron los más grandes cambios, por ejemplo, el cambio entre la zafra 2014/15 a la zafra 2015/16, que fue de 12.2%, también se dan regresiones tecnológicas como se observa, por ejemplo, entre las zafras 2018/19 y 2019/20, donde la reversión tecnológica fue de -5.8%.

Cuadro 3. Cambio entre periodos del Índice de Malmquist.

Cambio entre zafras	Cambio en la eficiencia técnica (%)	Cambio tecnológico (%)	Cambio en la productividad total de los factores (%)
2010/11-2011/12	0.9	4.5	5.5
2011/12-2012/13	-0.7	7.4	6.7
2012/13-2013/14	0.9	-3.6	-2.7
2013/14-2014/15	0.1	7.1	7.2
2014/15-2015/16	0.0	12.2	12.2
2015/16-2016/17	-0.2	-3.1	-3.3
2016/17-2017/18	0.2	-5.5	-5.3
2017/18-2018/19	0.0	6.2	6.2
2018/19-2019/20	-0.2	-5.8	-5.9
Promedio	0.1	2.0	2.1

Fuente: elaboración propia con base en la salida del CRAN-R.

Durante el periodo de estudio, las zafras 2012/13-2013/14, 2015/16-2016/17, 2016/17-2017/18 y 2018/19-2019/20, observaron un retroceso en la productividad total de los factores, siendo la zafra 2018/19-2019/20, la que presentó el mayor cambio negativo con -5.9%. Por el contrario, las zafras 2010/11-2011/12, 2011/12-2012/13, 2013/14-2014/15, 2014/15-2015/16 y 2017/18-2018/19, tuvieron un incremento en la productividad total de los factores, el mayor avance se presentó en la zafra 2014/15-2015/16, con 12.2%.

En este análisis por periodos de los índices de cambio en la eficiencia técnica y cambio tecnológico muestran que en las zafras 2011/12-2012/13, 2012/13-2013/14, 2016/17-2017/18, éstos índices se mueven en direcciones opuestas; es decir, en un mismo periodo, puede haber una mejora en la eficiencia, pero al mismo tiempo, darse una regresión tecnológica o viceversa.

De la misma forma, se obtuvieron los resultados del cambio porcentual para los tres indicadores en que se descompone el Índice de Malmquist: cambio en la eficiencia técnica, cambio tecnológico y cambio en la productividad total de los factores por entidad federativa (Cuadro 4). Si la medida de cambio porcentual resulta ser positiva, representa un avance en la eficiencia técnica, un avance tecnológico o bien, un incremento en la productividad total de los factores. Caso contrario, si la medida de cambio porcentual resulta un valor negativo, significa un retroceso en dichos indicadores.

Como se observa en el Cuadro 4, a diferencia de la tasa media de crecimiento anual, que solo permite visualizar la productividad para cada variable a la vez, los indicadores en que se descompone el Índice de Malmquist, permiten sintetizar en un solo porcentaje la eficiencia técnica, el cambio tecnológico y la productividad total de los factores para diez variables, de las cuales tres son consideradas como productos y siete como insumos.

El indicador de cambio en la eficiencia técnica, muestra que en general, durante el periodo 2010/11 – 2019/20, se estancó en 13 de las 15 entidades en las que se cultiva caña de azúcar, siendo su valor en tales estados de 0.0%. En Oaxaca, dicho indicador, incluso observó un retroceso. Llama la atención el Estado de Tabasco, donde la eficiencia técnica creció en 2.0%.

En el caso del indicador de cambio tecnológico, muestra que en 12 de las 15 entidades federativas donde se cultiva caña de azúcar, mostró un incremento en las mejoras tecnológicas e innovaciones. Sinaloa con un 12.5%, Jalisco 3.3%, Campeche 3.0%, Tabasco 2.4%, Veracruz 2.4% y Nayarit 2.1%. Los estados de Chiapas, Morelos, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí y Tamaulipas, tuvieron avances tecnológicos, aunque por debajo de la media nacional (2%). No obstante, en el periodo de estudio, dos estados mostraron una regresión tecnológica: Michoacán y Quintana Roo, donde el indicador de cambio tecnológico fue de -0.3% y -1.0%, respectivamente. Colima no presentó cambios.

Con respecto a la productividad total de los factores, se observó cambios positivos en los estados de Sinaloa con 12.5%, Tabasco con 4.4%, Jalisco con 3.3%,

Cuadro 4. Índice de Malmquist por entidad federativa.

Unidad de toma de decisiones	Cambio en la eficiencia técnica (%)	Cambio tecnológico (%)	Cambio en la productividad total de los factores (%)
Campeche	0.0	3.0	3.0
Chiapas	0.0	1.7	1.7
Colima	0.0	0.0	0.0
Jalisco	0.0	3.3	3.3
Michoacán	0.0	-0.3	-0.3
Morelos	0.0	0.2	0.2
Nayarit	0.0	2.1	2.1
Oaxaca	-0.3	1.2	0.9
Puebla	0.0	1.5	1.5
Quintana Roo	0.0	-1.0	-1.0
San Luis Potosí	0.0	0.4	0.4
Sinaloa	0.0	12.5	12.5
Tabasco	2.0	2.4	4.4
Tamaulipas	0.0	1.1	1.1
Veracruz	0.0	2.4	2.4
Nacional	0.1	2.0	2.1

Fuente: elaboración propia con base en la salida del CRAN-R.

Campeche con 3.0%, Veracruz con 2.4% y Nayarit con 2.1%. Los estados de Chiapas, Morelos, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí y Tamaulipas, también mostraron avances en la productividad total de los factores, aunque por debajo de la media nacional (2.1%). Colima, fue el único estado que no presentó cambios ni en la eficiencia técnica ni tecnológica, por lo tanto, tampoco presentó cambios en la productividad total de los factores. Los estados de Michoacán y Quintana Roo, mostraron un retroceso con un -0.3 y -1.0% respectivamente, que corresponde a un retroceso tecnológico y al no tener un cambio en la eficiencia técnica, dicho valor representa un retroceso en la productividad total de los factores.

DISCUSIÓN

El análisis preliminar de las tasas de crecimiento medio anual de algunos de los indicadores de productividad más usuales, en la evaluación del desempeño de la agroindustria de la caña de azúcar a nivel estatal, en el periodo de zafas 2010/2011-2019/2020 (Cuadro 5).

En el Cuadro 5, es posible observar los siguientes hechos a nivel nacional en el periodo de estudio. La superficie industrializada de caña de azúcar, creció sostenidamente en 1.52%, en contraste con el rendimiento en campo, que decreció en -0.41%. Las tasas de crecimiento de la producción de caña molida bruta y del azúcar base estándar, también crecieron en 1.108% y 0.166%, respectivamente. Dos de los indicadores parciales de productividad considerados más

Cuadro 5. Tasas de crecimiento de la productividad de algunas variables de la agroindustria de la caña de azúcar por estado.

Entidad	Superficie industrializada (%)	Rendimiento de campo (%)	Caña molida bruta (%)	Azúcar estándar (%)	Eficiencia en fábrica (%)	Rendimiento de fábrica (%)
Campeche	8.46	1.69	10.29	8.45	-0.194	-1.639
Chiapas	0.79	0.86	1.66	1.12	-0.169	-0.497
Colima	2.66	0.29	2.96	3.51	0.233	0.536
Jalisco	2.16	2.08	4.28	4.31	0.009	0.026
Michoacán	2.31	-0.18	2.13	1.70	-0.018	-0.428
Morelos	1.15	-0.10	1.06	1.38	0.468	0.313
Nayarit	0.77	1.16	1.94	1.17	-0.005	-0.749
Oaxaca	1.16	0.58	1.75	-0.28	-0.419	-1.978
Puebla	1.04	-0.09	0.95	0.54	0.187	-0.361
Quintana Roo	2.28	-7.01	-4.89	-6.90	-1.184	-2.025
San Luis Potosí	0.14	-4.68	-4.55	-5.98	-0.279	-1.497
Sinaloa	-9.28	-1.17	-10.34	-10.51	-0.089	-0.123
Tabasco	2.56	2.70	5.34	4.33	0.189	-0.929
Tamaulipas	1.02	-3.13	-2.14	-3.16	-0.555	-1.023
Veracruz	1.85	-0.54	1.30	-0.10	-0.284	-1.370
Nacional	1.52	-0.41	1.11	0.17	-0.152	-0.917

Fuente: elaborado con base en CONADESUCA (2020b).

importantes, tuvieron una tasa de crecimiento negativa: la eficiencia en fábrica decreció en -0.152% mientras que el rendimiento en fábrica lo hizo en -0.917%. Se consideró tres dígitos decimales para estos indicadores, debido a lo sensible que resulta para el análisis del desempeño de la productividad en la agroindustria cañera.

Por entidad federativa, Veracruz confirma lo que se señala en CONADESUCA (2020b): la producción de la caña de azúcar, y consecuentemente la producción de azúcar granulada estándar, ha crecido sostenidamente, al menos para el periodo de 2011 a 2020 de manera extensiva. Es decir, su crecimiento, ha estado basado en la superficie sembrada y, por lo tanto, la cosechada. Los indicadores de innovaciones y cambio tecnológico, han incluso registrado un decrecimiento, por ejemplo, también en Veracruz, el rendimiento en campo de caña de azúcar ha decrecido en -0.54% en promedio por año. Sinaloa, es un caso extremo, pues todos sus indicadores, han decrecido en el periodo de estudio. Esto, es reflejo de que, en dicho Estado, en el periodo de estudio, dejaron de operar dos ingenios azucareros: el ingenio Los Mochis dejó de operar en la zafra 2014/2015 y en la zafra 2013/2014, dejó de operar el ingenio Avance Regional (La Primavera). Finalmente, Campeche se destaca porque la tasa de crecimiento de la superficie industrializada de caña de azúcar, se incrementó en 8.46% cada año.

Respecto al indicador utilizado en el análisis anterior, vale la pena comentar que, la tasa media de crecimiento anual, permite visualizar si la variable

respectiva creció o decreció en términos de productividad, pero no permite separar en una medida única, el desempeño de la unidad de toma de decisiones, en este caso, la respectiva entidad federativa, en términos de la eficiencia técnica y del cambio tecnológico, esta situación se superó al utilizar el análisis de datos envoltentes, aplicado a datos de panel. Por lo que se refiere a la eficiencia técnica, se encontró que, en el periodo de estudio, se estancó en 13 de las 15 entidades en las que se cultiva caña de azúcar, siendo su valor, en tales estados de 0.0%. Dicho resultado, concuerda con aseveraciones de la SADER (2021), la cual afirma que, en los últimos diez años, si bien la superficie cosechada e industrializada de caña de azúcar observó una tasa de crecimiento anual del 1.4%, sin embargo, el rendimiento en campo y la eficiencia en fábrica, permanecieron prácticamente estancados, lo que significa que la producción de azúcar, creció de manera extensiva y no por incremento de la productividad del campo cañero o de los ingenios azucareros.

Por otra parte, 12 de las 15 entidades federativas donde se cultiva caña de azúcar, mostraron un incremento en las mejoras tecnológicas e innovaciones, sin embargo, Sinaloa, fue el único Estado que presentó un cambio significativo, contrario al análisis preliminar de las tasas de crecimiento medio anual. A pesar que en dicho estado dejaron de operar los ingenios Los Mochis y Primavera, con el análisis de datos envoltentes, aplicado a datos de panel, se obtuvo un valor positivo en el cambio tecnológico. SADER (2021), afirma que 34% del campo cañero, se encuentra sembrado con la variedad CP 72-2086, lo que hace vulnerable al cultivo respecto al estrés biótico y abiótico, plagas y enfermedades, por lo que se requiere diversificar el mosaico de variedades en el campo cañero mexicano. Aquino *et al.* (2018), identificaron que con la variedad MY 55-14, en campos experimentales, se ha logrado un rendimiento por arriba de las 180 ton/ha, puesto que dicha variedad, es de maduración temprana a intermedia.

Por otro lado, en algunas de las fábricas, los procesos e insumos que se emplean para transformar la caña de azúcar, son los mismos que se han utilizado desde hace muchos años y la aplicación de nuevas tecnologías, es aún incipiente. Lo anterior, concuerda con los resultados obtenidos en el caso del indicador de cambio tecnológico, a nivel nacional, durante el periodo de estudio, se obtuvo un promedio de tan solo 2%.

A continuación, se realiza una comparación de los índices de Malmquist de la industria azucarera en México, con otros países productores (Cuadro 6).

En una evaluación del cambio en la productividad, eficiencia técnica y cambio tecnológico realizado para la agroindustria azucarera en China, en el periodo 2004-2013, demostró una disminución en la tendencia de la productividad de la caña de azúcar durante 2004-2013, con un puntaje del índice de productividad total de los factores de 0.894, un ligero aumento en el nivel de eficiencia técnica, con un puntaje de 1.002 y una disminución en la innovación tecnológica, con

Cuadro 6. Cambio entre periodos del Índice de Malmquist para la industria azucarera de distintos países.

País	Cambio en la eficiencia técnica (%)	Cambio tecnológico (%)	Cambio en la productividad total de los factores (%)	Periodo
China	1.002	0.880	0.894	2004-2013
India	1.005	0.988	0.993	2004/05-2023/14
México	0.1	2.0	2.1	2010/11-2019/20
Pakistán	0.992	1.008	0.999	1998-2007

un puntaje de 0.880 (Yet *et al.*, 2016). Por su parte, en un estudio de la agroindustria azucarera de la India, para el periodo 2004/05-2013/14, los resultados mostraron que el valor promedio del índice de la productividad total de los factores fue de 0.993, lo que indica que durante ese periodo, la productividad ha disminuido en 0.70% anual, llegando a la conclusión que, dicha disminución, se debe en gran medida, a un retroceso tecnológico, ya que la eficiencia técnica, mostró una tasa de crecimiento moderada durante el periodo de estudio (Singh, 2016).

Raheman *et al.* (2009), en su estudio de la industria azucarera en Pakistán, para el periodo 1999-2007, encontraron que el índice de la productividad total de los factores, decreció en -0.1%, explicado por un decrecimiento de la eficiencia técnica de -0.8% y la tasa del crecimiento técnico fue de 0.8% anual.

Al realizar una comparación de los índices obtenidos en México y los índices de los otros países, se observa que el índice de la eficiencia técnica de México, es menor que China, India y Pakistán, sin embargo, el índice de cambio tecnológico de México, es mayor que los obtenidos por esos mismos países, por lo que cabe resaltar, que es indispensable, realizar un estudio minucioso sobre Sinaloa, Jalisco y Campeche, quienes obtuvieron los mayores índices de cambio tecnológico, para replicar sus procesos de producción y mejoras tecnológicas en aquellos ingenios menos favorecidos.

CONCLUSIONES

El análisis de la eficiencia técnica, el cambio tecnológico y la productividad total de los factores a través de datos de panel y estimados con el método no paramétrico de análisis de datos envolventes, permitió conocer cómo cambian tales indicadores a través del tiempo y para las unidades de toma de decisiones en dicho periodo de varios insumos como para varios productos.

La afirmación de que el crecimiento sostenido de la caña de azúcar, se ha debido al crecimiento (extensivo) en superficie exclusivamente y que el cambio tecnológico en campo, como en fábrica, se ha estancado, no es del todo correcto. Tres de los indicadores del Índice de Malmquist, han permitido ubicar en qué periodo entre zafras, la eficiencia técnica, el cambio tecnológico y la productividad total de los factores han crecido, han retrocedido o se han estancado.

La metodología, ha permitido detectar cuales estados han tenido mejoras de la eficiencia técnica, mejoras tecnológicas e innovaciones y crecimiento de la productividad total de los factores. A nivel entidad federativa, la eficiencia técnica, se estancó para casi todos los estados e incluso, se dio un retroceso en Oaxaca. En casi todos los estados, existió cambio tecnológico e incorporación de innovaciones a los procesos productivos, excepto en Michoacán y Quintana Roo, donde se dio una regresión tecnológica de -0.1 y -0.3%, respectivamente. En términos de los tres indicadores, Colima fue la única entidad donde existió un estancamiento, pues los índices son iguales a cero. Sinaloa, si bien no tuvo mejoras en su eficiencia técnica, muestra una gran incorporación de tecnología e innovaciones, pues su índice de cambio tecnológico en el periodo de estudio, fue del 12.5%.

REFERENCIAS

- Alvarado-Silva A, Bustamante-Lara T. 2022. Análisis de la especialización de la caña de azúcar en México, 1980-2017. *Revista de el colegio de San Luis, nueva época*. 12(23). 1-27. <https://doi.org/10.21696/rcsl122320221392>
- Aquino PR, Peralta J, Valdez JC, Salvador I. 2018. Determinantes de la productividad de caña de Azúcar en México. <https://www.siiba.conadesuca.gob.mx/siiaca/Consulta/verDoc.aspx?num=999>.
- Candia C, Aguirre M, Correa N, Herrera MJ. 2016. La productividad total de los factores en el sector manufacturero chileno. *Revista de economía institucional*. 18(35). 229-255. <http://dx.doi.org/10.18601/01245996.v18n35.12>.
- Castelán-Estrada M, Salgado-García S, Ortiz-Laurel H, Juárez-López JF. 2016. Transferencia del modelo de alta rentabilidad para la transformación integral del campo cañero en México. *Agro productividad*. 9(7). 14-17. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/779>.
- Castillo JL, González DX, Soto JM. 2018. Agroindustria de la caña de azúcar: desafíos para el sector agrícola. *Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA*. 7(13). 10-17. <https://doi.org/10.29057/icea.v7i13.3503>.
- CEDERSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria). 2019. Determinación del precio de la caña de azúcar al productor. http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/9/87nota_precio_ca%C3%B1a.pdf.
- CEMA (Compañía Editora del Manual Azucarero Mexicano). 2017. Manual azucarero mexicano. Editado por Compañía Editora del Manual Azucarero, S. A. de C. V., Ciudad de México, México; 487 p.
- Coelli TJ, Prasada DS. 2005. Total factor productivity growth in agriculture: a Malmquist index analysis of 93 countries, 1980-2020. *Agricultural Economics*. 32(1). 115-134. <https://doi.org/10.1111/j.0169-5150.2004.00018.x>.
- Coelli TJ, Prasada DS, O'Donnell CJ, Batesse GE. 2005. An introduction to efficiency and productivity analysis, 2ª ed.; Springer: Nueva York, Estados Unidos; <https://link.springer.com/book/10.1007/b136381>. 349 p.
- CONADESUCA (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar). 2016. Informe estadístico del sector agroindustrial de la caña de azúcar en México. Zafra 2008/09-2014/15. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/283887/Informe_Estadistico_CONADESUCA_14-15_26diciembre.pdf.
- CONADESUCA. 2020a. Programa Institucional 2020-2024 del Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/626336/Programa_Institucional_2020-2024_del_Conadesuca.pdf.
- CONADESUCA. 2020b. 7º Informe Estadístico del Sector Agroindustrial de la Caña de Azúcar en México, zafra 2010-2011/2019-2020. https://www.siiba.conadesuca.gob.mx/siiaca/docect/7_Informe_Estadistico.pdf.

- CONADESUCA. 2024. Programa especial derivado del plan nacional de desarrollo 2019-2024. <https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5639624>.
- Cooper WW, Seiford LM, Tone K. 2007. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software, 2ª ed.; Springer: Nueva York, Estados Unidos; <https://doi.org/10.1007/978-0-387-45283-8>. 492 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2025. FAOSTAT. Cultivos y productos de ganadería. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>.
- Färe R, Grosskopf S, Norris M, Zhang Z. 1994. Productivity growth, technical progress and efficiency changes in industrialized countries. *American Economic Review*. 84(1). 66–83. <http://www.jstor.org/stable/2117971>.
- Farrell MJ. 1957. The Measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*. 120(3). 253-290. <https://doi.org/10.2307/2343100>.
- Fontalvo T, De La Hoz E, Morelos J. 2018. La productividad y sus factores: incidencia en el mejoramiento organizacional. *Dimensión empresarial*. 16(1). 47-60. <https://doi.org/10.15665/dem.v16i1.1897>.
- Galván A. 2022. Productividad agrícola en México y sus determinantes: perspectivas del gasto público. *RIVAR* (Santiago). 9(27). 233-249. <http://dx.doi.org/10.35588/rivar.v9i27.5675>.
- Hatfield JL, Walthall CL. 2015. Meeting Global Food Needs: Realizing the Potential via Genetics × Environment × Management Interactions. *Agronomy Journal*. 107(4). 1215-1226. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0076>.
- Hernández-Cázares AS. 2014. La agroindustria de la caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) en México. *Agro productividad*. 7(2). 35-41. <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/511>.
- Heyne P. 1998. Conceptos de Economía: el mundo según los economistas, 8ª ed.; Pearson Prentice Hall: Madrid, España; 483 p.
- Katharaki M y Katharakis G. 2010. A comparative assessment of Greek universities' efficiency using quantitative analysis. *International Journal of Educational Research*. 49(4 y 5). 115-128. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2010.11.001>.
- Pérez-Medina P. 2022. La agroindustria cañera en México y los factores que han determinado su historia reciente (1961-2021). *Revista Inclusiones*. 9 (Esp.). 41-71. <https://revistainclusiones.org/index.php/inclu/article/view/3224/3570>.
- Pindyck RS, Rubinfeld DL. 2009. Microeconomía, 7ª ed.; Pearson Educación: Madrid, España; 888 p.
- Raheman A, Qayyum A, Afza T. 2009. Efficiency dynamic of sugar industry of pakistan. *The Pakistan Development Review*. 48(4). 921-938. <https://doi.org/10.30541/v48i4II>. pp: 921-938.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2021. Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar PRONAC 2021-2024. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/709503/PROGRAMA_PRONAC_2021-2024vf_web.pdf.
- SENER (Secretaría de Energía). 2017. Balance nacional de energía 2017. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/414843/Balance_Nacional_de_Energ_a_2017.pdf.
- SIAP (Servicio de Información Agroindustrial y Pesquera). 2025. Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- Silvestre RN, Chamú F. 2015. Eficiencia técnica y cambio tecnológico de las unidades académicas de la Universidad Michoacana a través del índice Malmquist. *Economía y sociedad*. 19(33). 17-35. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5371190>.
- Singh SP. 2016. Technical change and productivity growth in the Indian sugar industry. *Procedia Economics and Finance*. 39(1). 131-139. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(16\)30257-x](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(16)30257-x).
- Valdivia R, Cuevas CM, Vázquez JS, García MI, Santiago IM, Garay AS. 2022. Análisis de la eficiencia y retornos de escala de los ingenios azucareros en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 13(1). <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2639/4687>.
- Varian HR. 2010. Microeconomía intermedia Un enfoque actual, 8ª ed.; Antoni Bosch: Barcelona, España; 848 p.
- Yet J, Que YX, Li YR, Xu LP. 2016. Evaluating sugarcane productivity in China over different periods using data envelopment analysis and the malmquist index. *Sugar Tech*. 18(1). 478-487. <https://doi.org/10.1007/s12355-016-0427-0>.