



## Trayectorias tecnológicas y económicas de la agroindustria azucarera mexicana (2014–2024) †

### [Technological and economic trajectories of the Mexican sugar agroindustry (2014–2024)]

Jorge Armida-Lozano<sup>1,2</sup>, Gustavo López-Romero<sup>1</sup>, Felipe Gallardo-López<sup>1</sup>, Gregorio Hernández-Salinas<sup>2</sup>, Juan Cristóbal Hernández-Arzaba<sup>3</sup>, Emmanuel de Jesús Ramírez-Rivera<sup>2\*</sup> and Diego Esteban Platas-Rosado<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Km. 88.5 Carretera Federal Xalapa-Veracruz, vía Paso de Ovejas entre Puente Julia y Paso San Juan Predio Tepetates, Municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. Email:

[armida.jorge@colpos.mx](mailto:armida.jorge@colpos.mx); [dplatas@colpos.mx](mailto:dplatas@colpos.mx)\*; [felipegl@colpos.mx](mailto:felipegl@colpos.mx); [gustavolr@colpos.mx](mailto:gustavolr@colpos.mx)

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México Campus Zongolica. Km 4 Carretera a la Compañía S/N, Tepetitlanapa, Zongolica, Veracruz, México. Email:

[ejramirezrivera@zongolica.tecnm.mx](mailto:ejramirezrivera@zongolica.tecnm.mx)\*; [gregorio\\_hs@zongolica.tecnm.mx](mailto:gregorio_hs@zongolica.tecnm.mx); [jorge\\_armida@zongolica.tecnm.mx](mailto:jorge_armida@zongolica.tecnm.mx)

<sup>3</sup>Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Federal México – Veracruz km 348, Congregación Manuel León, Municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. Email: [jc.hernandez@colpos.mx](mailto:jc.hernandez@colpos.mx)

\*Corresponding author

#### SUMMARY

**Background:** The sugar agroindustry in Mexico has undergone significant transformations in the last decade due to the interaction of various technological, economic, and social factors that have modified the productive trajectory of this agricultural sector. **Objective** To analyze the technological trajectory of sugarcane harvesting in the Mexican states with the highest national production (2014 to 2024) to identify regional and temporal patterns. **Methodology:** Data from the National Committee for the Sustainable Development of Sugarcane (CONADESUCA, 2024) were used to analyze the following variables: total sugar production, industrialized area, number of harvesters, degree of mechanization in harvesting, theoretical KARBE (Sugarcane Amount Residue), reference prices, and agro-industrial yields. Non-parametric Kruskal-Wallis (K-W) test was applied to the factors (state and year of production), along with multiple factor analysis. **Results:** Differences were found in the factors analyzed. The sugarcane agroindustry in the states of Jalisco and San Luis Potosí stands out for its mechanization, while Veracruz, although it has consolidated its position as a national leader due to its size, still lags behind in technological modernization, similar to the states of Chiapas and Oaxaca. Multiple Factor Analysis revealed three important trajectories: 1) 2014–2018, characterized by high production volumes and efficiency; 2) 2019–2021, identifying structural tensions and changes in direction; and 3) 2022–2024, representing the dominance of mechanization and price volatility as central variables. **Implications:** These findings provide evidence to guide public policies and sustainability strategies in the sector. **Conclusion:** The Mexican sugarcane agro-industry is moving towards an economic-technological logic where mechanization and efficiency are consolidated as determining factors of its competitiveness and future sustainability.

**Key words:** Sugarcane, Agroindustry, Technological Change, Mechanization.

#### RESUMEN

**Antecedentes:** La agroindustria azucarera en México ha experimentado transformaciones importantes en la última década debido a la interacción entre diversos factores tecnológicos, económicos y sociales que han modificado la trayectoria productiva de este sector agrícola. **Objetivo:** Analizar la trayectoria tecnológica de la cosecha de caña de azúcar de los Estados mexicanos de mayor producción nacional (2014 al 2024) para la identificación de patrones

† Submitted October 9, 2025 – Accepted January 29, 2026. <http://doi.org/10.56369/tsaes.6641>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = J. Armida-Lozano: <https://orcid.org/0009-0004-9910-8747>; E.J. Ramírez-Rivera: <https://orcid.org/0000-0002-3865-1314>; D.E. Platas-Rosado: <https://orcid.org/0000-0001-8792-5230>; G. López-Romero: <https://orcid.org/0000-0003-1831-0368>; F. Gallardo-López: <https://orcid.org/0000-0003-1490-4919>; G. Hernández-Salinas: <https://orcid.org/0000-0001-7857-3624>; J.C. Hernández-Arzaba: <https://orcid.org/0000-0002-0646-1794>

regionales y temporales. **Metodología:** Se usaron bases del Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (CONADESUCA, 2024) para analizar las variables: producción total de azúcar, superficie industrializada, número de cortadores, grado de mecanización en cosecha, KARBE teórico, precios de referencia y rendimientos agroindustriales. Se aplicó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis (K-W) a los factores (Estado y año de producción) y Análisis Factorial Múltiple. **Resultados:** Se encontraron diferencias en los factores analizados y se encontró que la agroindustria de la caña de los Estados de Jalisco y San Luis Potosí se destacan por su mecanización y aunque en el Estado el Veracruz se ha consolidado como referente nacional por su extensión aún muestra rezago en la modernización tecnológica similar a los Estados de Chiapas y Oaxaca. El Análisis Factorial Múltiple demostró tres importantes trayectorias: 1) 2014–2018 representado por altos volúmenes de producción y eficiencia; 2) 2019–2021 identificación de tensiones estructurales y cambios de dirección; y 3) 2022–2024 representación de dominancia de la mecanización y flotabilidad de precios como variables centrales. **Implicaciones:** Estos hallazgos ofrecen evidencia para orientar políticas públicas y estrategias de sostenibilidad en el sector. **Conclusión:** La agroindustria cañera mexicana transita hacia una lógica económico-tecnológica donde la mecanización y la eficiencia se consolidan como factores determinantes de su competitividad y sostenibilidad futura.

**Palabras clave:** Caña de Azúcar, Agroindustrial, Cambio Tecnológico, Mecanización.

## INTRODUCCIÓN

La caña es un cultivo multifuncional de importancia económica en el mundo debido a su alta productividad por unidad de superficie y su capacidad de procesamiento localmente (Gómez-Merino *et al.*, 2017; Pérez-Medina, 2022). Históricamente, este cultivo es uno de los más importantes en el mundo en términos de volumen con un 21.1 % del volumen total de la producción mundial de cultivos, lo cual refleja su peso estructural dentro de los sistemas agroalimentarios y agroindustriales (Figueroa-Rodríguez, 2019; Santiago-Zárate *et al.*, 2021)

En el año 2022, la producción mundial de caña de azúcar fue de 1922 Mt, siendo Brasil el país con mayor producción (38%) seguido de India (23 %), China (5 %), Tailandia (5 %). En este contexto, México se posiciona como el noveno productor de azúcar en el mundo con el 2.5% (Deuja *et al.*, 2025) y su producción se encuentra regulada por un marco institucional a través de Ley Federal de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (DOF, 2005) y el Programa Nacional de la Caña de Azúcar (PRONAC) actualizado para el periodo 2025–2030.

La caña de azúcar constituye el tercer cultivo agrícola más importante de México después del maíz y el aguacate, con un valor de la producción superior a 50,590 millones de pesos que aportan de manera significativa al Producto Interno Bruto (PIB) alimentario y al bienestar económico de amplias regiones rurales del país. Actualmente, este cultivo se desarrolla en más de 800 mil hectáreas industrializadas distribuidas en más de 267 municipios de 15 Estados de la república mexicana en las cuales se genera alrededor de 500 mil empleos directos y una amplia red de empleos indirectos vinculados al transporte, la industria azucarera y los servicios asociados (SIAP, 2025; CONADESUCA, 2025).

En el 2023 se estimó una producción de caña de azúcar de 52.2 millones de t con rendimientos en campo entre 60 y 90  $\text{tha}^{-1}$  y su producción es usada para la generación de diversos productos como azúcar, forraje, piloncillo, melaza, etanol, alcohol entre otros (Castillo *et al.*, 2018). Sin embargo, la agroindustria de la caña de azúcar (AICA) no sólo se enfrenta a los cambios estructurales en aspectos organizativos y el nivel tecnológico, sino también a factores fluctuantes como condiciones agroclimáticas, el acceso al riego que han dado la pauta a la reducción sostenida del consumo *per cápita* de azúcar de aproximadamente 50 a 42 kg por persona al año en las últimas dos décadas; así como la disminución de los rendimientos agroindustriales y la pérdida gradual de competitividad frente a otros edulcorantes (Hernández-Cázares, 2014; CONADESUCA, 2025).

En este sentido, el Programa Institucional del CONADESUCA 2025–2030 identifica como problemáticas centrales la caída de la productividad, el envejecimiento del campo cañero, el incremento de los costos de producción, la heterogeneidad tecnológica entre regiones y la limitada adopción de innovaciones en las labores de cultivo y cosecha, particularmente en sistemas dominados por pequeños productores. En este contexto, se reconoce que la transición hacia esquemas más eficientes y sostenibles depende en gran medida de la adopción progresiva de tecnologías adecuadas a las condiciones regionales y socioeconómicas de los productores (Aguilar-Rivera, 2014; Villegas-Vilchis, 2020).

Es por ello por lo que existe la necesidad de adoptar nuevas tecnologías que contribuyan a aumentar la productividad y competitividad (Aguilar-Rivera, 2014; Villegas-Vilchis, 2020). Sin embargo, es importante analizar las trayectorias productivas de los municipios dominantes de la AICA basándose en los patrones tecnológicos e implicaciones económicas a través del tiempo (Altieri *et al.*, 2017; Candelario-Rosales *et al.*, 2025). Este tipo de análisis es crucial para identificar

patrones regionales de cambio tecnológico, evaluar sus implicaciones económicas y productivas, y generar evidencia que contribuya a orientar políticas públicas y estrategias sectoriales alineadas con los objetivos de sostenibilidad y competitividad planteados en el PRONAC 2025–2030 (CONADESUCA, 2025) que permitan optimizar los procesos de cultivo y corte de caña para mejorar la eficiencia y rentabilidad en esta cadena de producción (Horta *et al.*, 2024). El objetivo de esta investigación fue analizar la trayectoria tecnológica de la cosecha de caña de azúcar de los Estados mexicanos de mayor producción nacional (2014 al 2024) para la identificación de patrones regionales y temporales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Fuente de datos

En esta investigación se usaron las bases de datos del Sector Agroindustrial de la Caña de Azúcar en México del periodo 2014–2024 debido a que es el organismo regulador del sector (CONADESUCA, 2024). Los datos están disponibles para consulta pública en la siguiente dirección electrónica: [https://www.siiiba.conadesuca.gob.mx/siiaica/docext/1Ivo\\_Informe\\_Estadistico.pdf](https://www.siiiba.conadesuca.gob.mx/siiaica/docext/1Ivo_Informe_Estadistico.pdf)

### Variables analizadas

En esta investigación se consideraron las variables: Producción de azúcar total (PAT), Superficie industrializada (SIN), Número de cortadores (COR), Caña cosechada mecánicamente (CCM), Caña alzada mecánicamente (CAM), Kilogramos de Azúcar Recuperable Base Estándar por tonelada de caña bruta (KTT), Precio de referencia del azúcar para el pago de la caña (PARA), Precio por tonelada de caña neta (PTC), Rendimiento de fábrica (RENF) y Rendimiento agroindustrial (RENA). Las variables PAT, SIN y COR se usaron para determinar la magnitud de la producción; las variables CCM y CAM para determinar el nivel de modernización tecnológica y la reducción de la dependencia de la mano de obra; la variable KTT se utilizó para determinar la eficiencia en la calidad de la caña y las variables PARA y PTC para relacionar la dinámica de precios y su impacto económico. Finalmente, las variables RENF y RENA se usaron para indicar el comportamiento productivo e industrial de la cadena. Las variables consideradas fueron seleccionadas por su importancia para la caracterización técnico-productiva y económica de la AICA (Moreno-Seceña *et al.*, 2011)

### Análisis estadístico

Se empleó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis (K-W) debido a que los datos no cumplieron con el supuesto de normalidad de acuerdo con la prueba

Shapiro-Wilk. La prueba de K-W se aplicó a los Estados y años con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$  para analizar los contrastes estadísticos de variabilidad temporal y regional. Por último, se usó la técnica de Análisis Factorial Múltiple (AFM) y el coeficiente de correlación vectorial ( $R_v$ ) para el análisis de los diferentes conjuntos de variables de manera simultánea en el desempeño agroindustrial (Josse *et al.*, 2008). El AFM es una herramienta poderosa que permite analizar conjuntos de datos constituidos por diferentes bloques de variables de distintos tipos y medidas en los mismos objetos (Stanimirova *et al.*, 2005).

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software XLSTAT, versión 2020 (Addinsoft, 2022).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización inicial de las trayectorias tecnológicas

Durante el periodo 2014–2024, la producción nacional de azúcar en México experimentó una tendencia decreciente que alcanzó su punto más bajo en la zafra 2023–2024, debido al cambio climático, con un volumen total de 4,703,547 t como se muestra en la Figura 1. Esta caída histórica no sólo evidenció las limitaciones estructurales del sector, sino que también generó un desbalance entre oferta y demanda, obligando al país a importar aproximadamente 600,000 t de azúcar para abastecer el mercado interno. Por ejemplo, en países productores de caña de azúcar como Brasil se demostró que en el periodo 2003 a 2006 hubo un aumento de este cultivo debido a la expansión de las áreas de cosecha, especialmente en la región del Centro Oeste brasileño (Ferraz *et al.*, 2021). La disminución de la producción nacional del azúcar en las zafras más recientes sugiere la convergencia de factores estructurales que han limitado la capacidad de respuesta del sector. Entre los que destacan la heterogeneidad tecnológica entre regiones, la persistente dependencia de mano de obra en amplias zonas cañeras y la limitada modernización de los procesos de cosecha. En este sentido, la reducción del volumen productivo no puede interpretarse únicamente como un evento exógeno, sino como el resultado de trayectorias tecnológicas diferenciadas que condicionan la resiliencia productiva de la agroindustria azucarera mexicana (Sentíes-Herrera *et al.*, 2014; Santiago-Zárate *et al.*, 2021).

En la Figura 2 se muestran los resultados de producción por año, estatal, caña alzada y cosecha. En la Figura 2A se observa que la AICA del Estado de Veracruz tuvo el mayor aporte a la producción nacional (38%), seguido de la AICA ubicada en los estados de Jalisco (13%), San Luis Potosí (9%), Oaxaca (6%) y Chiapas (6%). Para el caso de la producción por zafras se puede apreciar en la Figura 2B que la AICA de los

estados de Jalisco, Oaxaca y Chiapas tuvieron un comportamiento productivo constante durante el periodo de 2014-2024 caso contrario a la AICA de los

estados de Veracruz y San Luis Potosí quienes presentaron menores producciones para los periodos 2019-2020, 2022-2023 y 2023-2024.

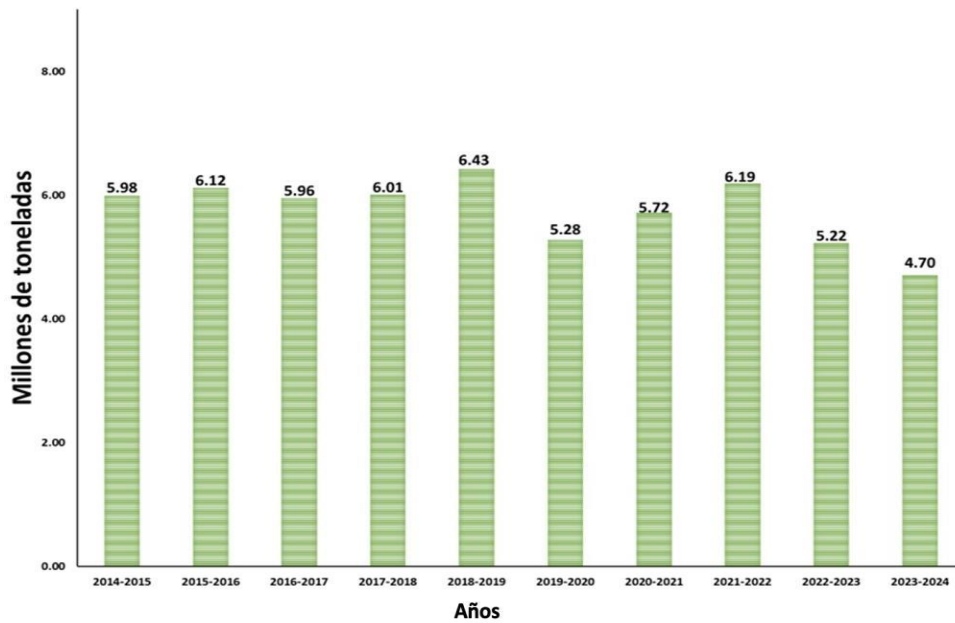


Figura 1. Producción nacional de azúcar en México durante las zafras 2014–2024.

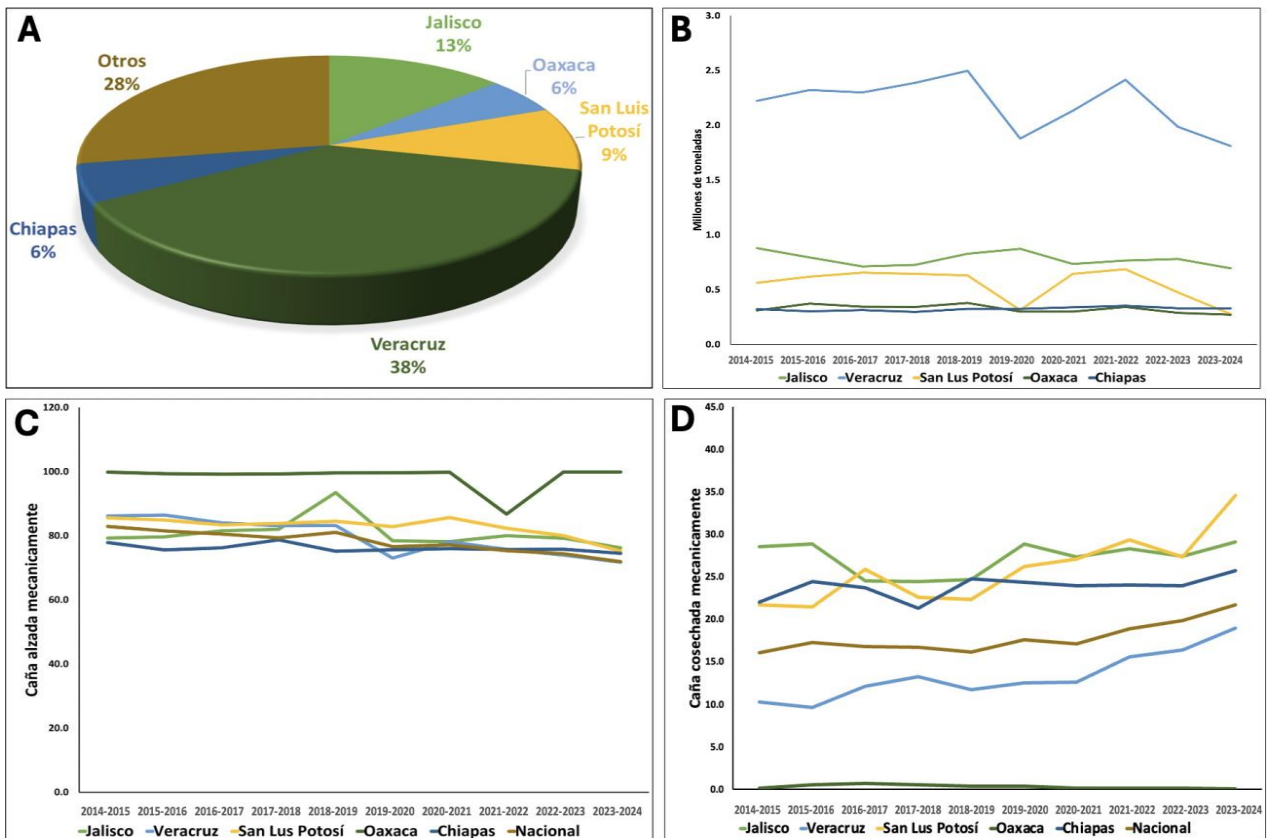


Figura 2. Producción de azúcar de caña en los principales Estados productores de México (A) producción por Estado (B) zafras 2014-2024; (C) Caña alzada mecánicamente y (D) Caña cosechada mecánicamente.

El contraste entre entidades como Veracruz, Jalisco y San Luis Potosí ponen en evidencia que el liderazgo productivo basado en la extensión territorial no siempre se traduce en ventajas tecnológicas. Por ejemplo, Veracruz mantiene su posición como principal productor nacional por escala mientras que en los estados de Jalisco y San Luis Potosí muestran una mayor eficiencia relativa asociada a procesos de mecanización más avanzados. Este comportamiento sugiere que la competitividad regional no depende exclusivamente del volumen producido, sino de la capacidad de incorporar innovaciones tecnológicas que permitan reducir costos, estabilizar rendimientos y responder con mayor flexibilidad a las presiones del mercado y del entorno climático (Villegas-Vilchis *et al.*, 2020; Aguilar-Rivera, 2018).

Respecto a la caña alzada mecánicamente (CAM) se puede apreciar que en los periodos 2014-2018 esta actividad se mantuvo constante obtenido su pico más alto en el periodo de 2018-2019 y posteriormente una tendencia en decremento a partir del 2019 hasta el 2024 (Figura 2C). Este resultado refleja una disminución de 63,074 ha a nivel nacional lo que equivale a una contracción del 8.5% en relación con el ciclo anterior.

A nivel estatal se encontró que la CAM de todos los Estados, con excepción de la AICA de Oaxaca, presentaron una tendencia similar al promedio nacional (Figura 2C). Sin embargo, también se observó que en el periodo del 2014-2018 la AICM de Veracruz, San Luis Potosí, Jalisco y Chiapas mantuvieron valores similares de CAM encontrándose los valores más altos en los periodos 2018-2019 para Jalisco y Veracruz, 2020-2021 para San Luis Potosí y 2017-2018 para Chiapas (Figura 2C). Estos resultados pueden deberse a la transición tecnológica observada en el proceso de cosecha indicando el progreso tecnológico e innovación (Santiago-Zárate *et al.*, 2021).

Para el caso de caña cosechada mecánicamente (CCM) a nivel nacional se encontró que durante el periodo 2014-2020 los niveles de cosecha mecanizada se mantuvieron relativamente estables, con una tendencia de aumento a partir de 2021 y hasta 2024, reflejando un proceso de adopción tecnológica en el sistema cañero mexicano ante la necesidad de reducir costos de mano de obra y enfrentar restricciones ambientales asociadas a la quema de caña (Herrera-Solano *et al.*, 2023).

En cuanto a la caña cosechada mecánicamente (CCM) a nivel nacional se encontró que del periodo 2014-2020 fue similar y con una tendencia de aumento del 2021- al 2024, reflejando un proceso de adopción tecnológica en el sistema cañero mexicano ante la necesidad de reducir costos de mano de obra y enfrentar restricciones ambientales asociadas a la quema de caña (Herrera-Solano *et al.*, 2023). La AICA de Jalisco,

Chiapas y San Luis Potosí quienes se encontraron por encima del promedio nacional a diferencia de Veracruz y Oaxaca quienes mostraron un posicionamiento contrario (Figura 2D). De manera individual se observó que la AICA de Jalisco la mayor cantidad de CCM fue en los periodos 2014-2016 y 2019-2020, para Chiapas fue en 2015-2016 y 2018-2019 y para San Luis Potosí se encontró en los periodos 2016-2017, 2021-2022 y 2023-2024 (Figura 2D). Sin embargo, la CCM de las AICA de los Estado de Veracruz tuvo un incremento a partir del 2021 al 2024 aunque para el Estado de Oaxaca ha sido casi nula del 2014-2024 (Figura 2D).

En la Figura 3A se encuentran los resultados de la mecanización tanto para la alzada como de cosecha. Se visualiza que la caña alzada mecánicamente con corte manual mostró una disminución de 82.9% a 71.9% a nivel nacional (2014-2024), lo cual, puede estar relacionado con el incremento de la cosecha mecanizada (Figura 3B), la cual, aumentó en el mismo periodo (2014-2024) de 16.1% a 21.7% debido a que en muchos casos las cosechadoras realizan ambas labores. Por su parte, en el Estado de Oaxaca se muestra un caso atípico donde se mantiene un nivel muy alto de alzado mecánico o corte manual (99%), lo que indica una estructura operativa distinta al resto del país y que puede ser causado por la gran cantidad de trabajadores calificados en el sector azucarero incluso después del proceso de mecanización (Oliveira, 2009). Sin embargo, Quiroz-Guerrero *et al.* (2011) mencionaron que factores como el uso de subproductos en composta o fertilización también condiciona la velocidad de adopción tecnológica de acuerdo con la percepción de los productores frente a innovaciones y prácticas derivadas de la agroindustria.

En la Figura 4 se muestra el análisis de correlación entre el número de cortadores y el porcentaje de caña cosechada mecánicamente. Se observa una tendencia inversa, ya que conforme aumenta el número de cortadores la mecanización disminuye. La relación lineal entre ambas variables indica que la disponibilidad de cortadores explica aproximadamente el 38 % de la variabilidad observada en la mecanización ( $R^2 = 0.38$ ). Esta relación inversa se puede confirmar que actualmente la mano de obra continúa siendo un factor determinante en la zafra debido a que su participación reduce la incorporación de maquinaria y mecanización de los procesos, sin embargo, el avance de la mecanización ha avanzado gradualmente de 16 % a 22 %. Este hallazgo es consistente con Jeongwoo *et al.* (2012) quienes reportaron que los campos de caña de azúcar cosechados manualmente se queman previamente para disminuir los costos de corte o evitar descuentos en los ingenios por impurezas en la materia prima. Por su parte, Ortiz Laurel *et al.* (2012) y Seabra *et al.* (2011)

indicaron que la proporción de campos cosechados mecánicamente que no se queman ha aumentado, al mismo tiempo que crece el porcentaje total de áreas sin quema, proyectándose que en un futuro próximo todos los campos con mecanización prescindan de esta práctica. Resultados similares se identifica en Brasil donde la disponibilidad de cortadores ha condicionado la velocidad de adopción de maquinaria y la transición hacia prácticas más limpias en la zafra (Solano *et al.*, 2017). De igual manera, en México se tiene evidencia que factores socioeconómicos como la edad, el nivel educativo y el acceso a asistencia técnica influyen directamente en la capacidad de los productores para incorporar tecnologías de mecanización (Armida-Alcudia *et al.*, 2011). En este mismo sentido, Limna *et al.* (2025) destacan que la mecanización constituye una alternativa viable para enfrentar la creciente escasez de

mano de obra, al tiempo que mejora la eficiencia operativa y reduce los costos asociados a la dependencia del trabajo manual, reforzando la interacción entre factores laborales y tecnológicos en la transición hacia sistemas productivos más sostenibles. La mecanización del corte de caña es la tendencia irreversible para el futuro en México dado su crecimiento económico y demanda de mano de obra en otras áreas como la infraestructura y los servicios.

El Estado de Veracruz concentra el mayor número de cortadores de caña en el país, con el 62.7 % del total, seguido de San Luis Potosí y Oaxaca. En la zafra 2014 se contrataron 70 323 cortadores, mientras que en 2024 la cifra se redujo a 65 831, lo que representa una contracción del 6.4 %. Esta reducción en la disponibilidad de mano de obra genera presiones al

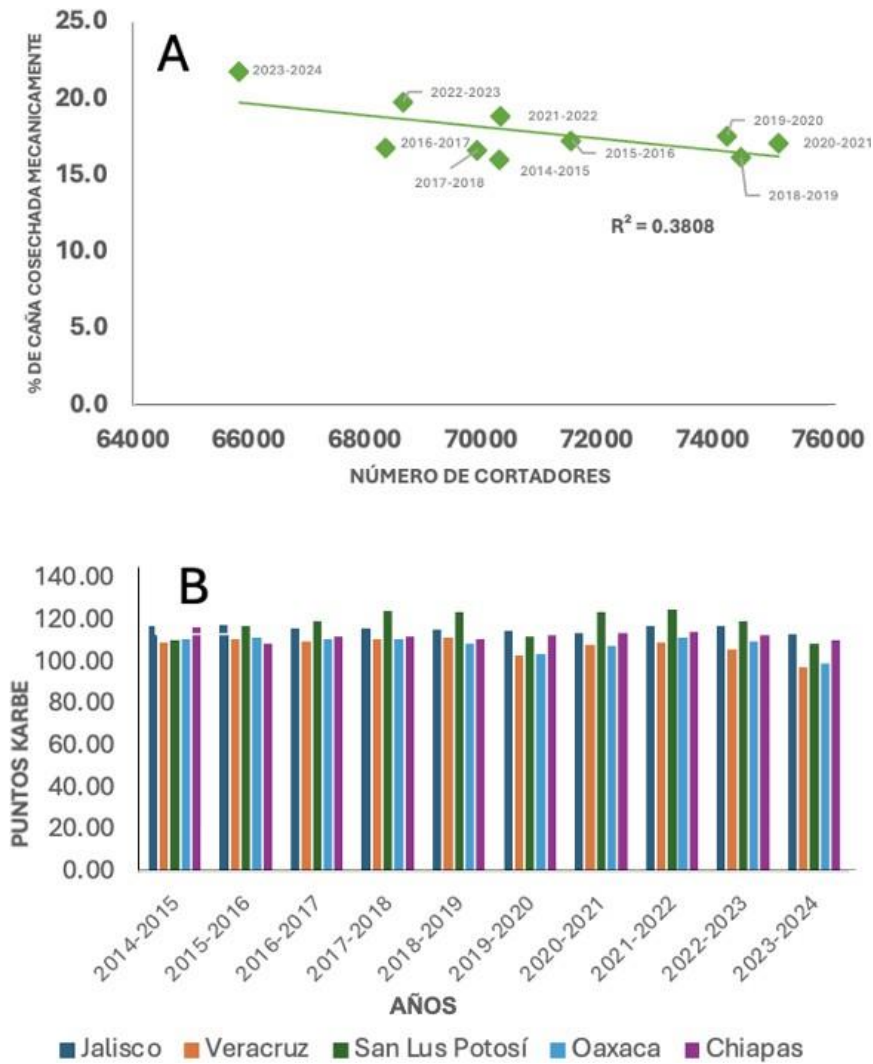


Figura 3. (A) Relación entre el número de cortadores y el porcentaje de caña cosechada mecánicamente (2014–2024); (B) KARBE promedio por Estado (2014-2024).

alza en los costos de cosecha, ya que, ante la menor oferta, los trabajadores exigen mejores salarios, incentivos o condiciones de empleo. Estudios sobre el mercado laboral agrícola en México sostienen que, en contextos de escasez de jornaleros, las condiciones de contratación tienden a modificarse para atraer fuerza de trabajo, lo que incrementa los costos de producción (Flores-Mariscal, 2021; Rangel-Zaragoza *et al.*, 2021).

En cuanto al KARBE teórico (kg de azúcar recuperable base estándar por t de caña bruta) de 2014 a 2024 mostró una disminución nacional de 7.9 puntos, en donde, la AICA de los Estados de Oaxaca y Veracruz tuvieron las caídas más significativas (12 puntos en ambos casos) y esto pudo ser ocasionado por factores climáticos, aunque su promedio se mantiene por encima del promedio nacional. En la Figura 3B se muestran los resultados del KARBE en los cuales se puede apreciar que existe la necesidad de considerar no sólo los rendimientos industriales sino también la calidad composicional de la caña y su potencial de aprovechamiento alternativo (Reyes-Gutiérrez *et al.*, 2015).

En la Figura 4 se muestran los resultados del pago por t (PTC) y precio de referencia (PARA) a nivel nacional y por estado. Para la zafra 2014-2016 se encontró que el PTC fue similar entre los estados caso contrario de las zafras del 2016-2024 en donde se puede observar claramente que la AICA de los Estados de Jalisco, San Luis Potosí y Chiapas sobresalen a comparación de la

AICA de Oaxaca y Veracruz. Por otro lado, el PARA a nivel nacional tuvo un comportamiento fluctuante debido a que del 2014-2017 hay un incremento y en el 2018-2019 se encontró una disminución importante que en el siguiente ciclo (2019-2020) incrementa y se mantiene estable hasta el 2022 y posteriormente vuelve a incrementar.

### Contrastes estadísticos de variabilidad temporal y regional

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la prueba K-W para el factor Estado. Se observa que todas las variables analizadas mostraron diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) con la excepción de PTC y PARA. Para PAT se encontró que predominó en el Estado de Jalisco seguido del Estado de San Luis Potosí e incluso superaron el promedio nacional. Sin embargo, SIN y COR se encontró que el Estado de San Luis Potosí fue superior al resto de los Estados incluyendo el promedio nacional. Para el caso de CMM se observó que destacan los Estados del Centro-Occidente del país (Jalisco y San Luis Potosí) y el Estado de Chiapas quienes usan esta tecnología mientras que en los Estados de Veracruz y Oaxaca se usa mayormente CA. En el caso del KKT y RENF se muestran una tendencia similar entre los Estados de Jalisco, San Luis Potosí, Chiapas y el promedio nacional a comparación del resto de los Estados caso contrario al RENA en el cual, el Estado de Chiapas tiene un rendimiento superior al resto de los Estados evaluados.

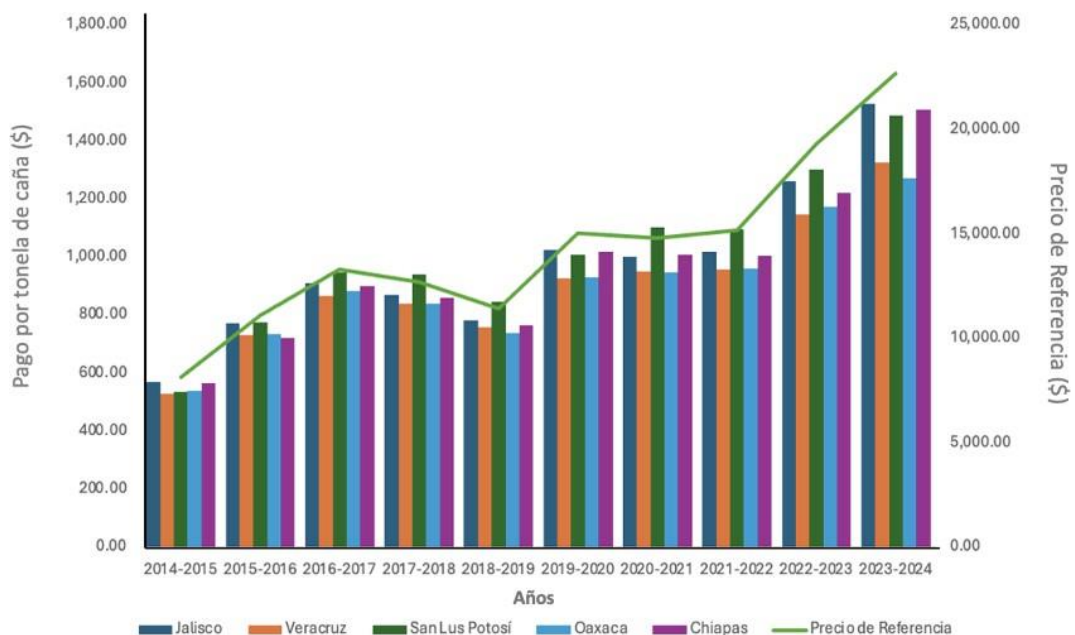


Figura 4. Precios de pago de por tonelada de caña por Estados (PTC) y Precios de referencia (PARA). Fuente: Grafico elaborado con datos de CONADESUCAR 2014-2024.

**Tabla 1. Valores de probabilidad y promedios de cada variable evaluada por Estado (2014-2024).**

Variable	Valor de probabilidad	Jalisco	San Luis Potosí	Chiapas	Veracruz	Oaxaca	Nacional
PAT (t)	<0.0001	776853c	549272d	322311e	2193302b	323508e	5760123a
SIN (ha)	<0.0001	75465d	91074c	31784f	326696b	52168e	78508a
COR (Persona)	<0.0001	4646 de	7171c	3722e	35250b	5458d	70902a
CMM (%)	<0.0001	27 a	26 a	24 b	13 d	0 e	18 c
CAM (%)	<0.0001	81 bc	83 b	76 c	80 bc	103 a	78bc
KKT (kg/tCB)	<0.0001	116 a	119 a	113 b	108c	109 c	112 b
PARA (\$/t)	1.00	14367a	14367a	14367a	14267a	14367a	14367a
PTC (\$/t)	0.84	974a	1004a	1957a	903a	902a	939a
RENF (%)	<0.0001	12 a	12 a	11 ab	11d	11cd	11 bc
RENA (t/ha)	<0.0001	10 a	6 d	10 a	7c	6cd	7b

Literales diferentes en filas indican diferencias significativas. PAT = Producción de azúcar total; SIN = Superficie industrializada; COR = Cortadores; CMM = Caña cosechada mecánicamente; CAM = Caña alzada mecánicamente = KKT = KARBE teórico-tonelada de caña bruta; PARA = Precio de referencia del azúcar para el pago de la caña; PTC = Precio por tonelada de caña neta; RENF = Rendimiento de fábrica; RENA = Rendimiento agroindustrial

En la Tabla 2 se muestran los resultados de probabilidad de la prueba K-W y promedios por año. Se encontraron diferencias ( $p < 0.05$ ) solamente en PARA y PTC. Los valores máximos de PARA se observó en el periodo del 2023-2024 mientras que los valores máximos de PTC se encontró en los periodos de zafra 2019-2020, 2023-2024 y 2022-2023. Sin embargo, a pesar de no encontrar evidencia estadística suficiente en el resto de las variables se puede explicar que en el caso de PAT la mayor producción fue en las zafras 2018-2019, 2020-2021, 2021-2022, este resultado coincide con reportes que ubican a estos periodos de eficiencia productiva antes de la intensificación de tensiones estructurales y climáticas (Voora *et al.*, 2023). En el caso de SIN fue similar en casi todos los años con excepción de 2023-2024 cuando disminuyó, esto pudo ser causado por los efectos de la competencia por el uso del suelo y las variaciones en la rentabilidad agrícola en México (Sentie-Herrera *et al.*, 2014). Por el contrario, el mayor uso de COR se observaron en los años 2021-2022, 2018-2019, 2019-2020 y 2015-2016, confirmando la persistente dependencia de mano de obra, un factor que diversos autores señalan como limitante en la modernización del sector (Chapae *et al.*, 2020). Sin embargo, los valores más altos de CMM se observó en el 2023-2024 y para el KKT se observó en todos los periodos con excepción del 2019-2020 y 2023-2024, estos resultados indican la urgente necesidad de mejoras en la calidad industrial de la caña y la eficiencia en el aprovechamiento de azúcares (Parascanu *et al.*, 2021). Los valores más altos de RENF y RENA se encontraron en los años 2021-2022, 2020-2021, 2018-2019, 2017-2018, 2016-2017, 2015-2016 y 2014-2015. Estos resultados confirman que la AICA mexicana es altamente sensible a tres factores: la dinámica de precios internacionales, la disponibilidad de mano de obra y el grado de mecanización, condicionando así sus trayectorias productivas y tecnológicas. Este comportamiento se alinea con la visión global de la caña como uno de los cultivos agrícolas más importantes del mundo, con gran impacto en ingresos rurales y cadenas agroindustriales (Voora *et al.*, 2023; Szajner & Hryszko, 2024).

### Dimensiones latentes y correlaciones vectoriales en el desempeño agroindustrial

La visualización de las trayectorias se muestra en la Figura 5. Se observa tres diferentes trayectorias que fueron identificadas como: 1) Un primer grupo de años (2014–2018) asociados a indicadores de volumen y eficiencia como PAT, RENC, RENA, y superficie industrializada (SIN); 2) Un periodo de transición (2019–2021), con mayor dispersión, reflejando posibles tensiones estructurales y cambios de dirección; 3) Finalmente, los años más recientes (2022–2024) se agrupan hacia el cuadrante donde dominan variables como PTC, PARA y CCM, lo cual sugiere un giro hacia una lógica más económico- tecnológica en la producción, en estos años es cuando se reflejan más los efectos del cambio climático. Los resultados antes mencionados quedaron comprobados con los valores de correlación  $R_v$  los cuales fueron correlaciones entre Estados en el orden de 0.46 a 0.97 identificándose como las asociaciones más importantes entre los Estados de Veracruz-Oaxaca ( $R_v = 0.89$ ), Veracruz-San Luis Potosí ( $R_v = 0.89$ ) y Veracruz-Nacional ( $R_v = 0.97$ ). Lo anterior refleja también en la trayectoria de los Estados: Veracruz y San Luis Potosí se desplazan del enfoque en rendimientos hacia la mecanización. En el caso del Estado de Chiapas se ubica recientemente cerca de los vectores de precios y el Estado de Jalisco, aunque muestra estabilidad en su nivel de mecanización, se ubica consistentemente en la zona de mayor tecnificación. Por su parte, el Estado de Oaxaca permanece al margen del proceso de modernización asociado a métodos tradicionales de cosecha y alzamiento. Por lo anterior, mediante la aplicación del AFM se pudo identificar y visualizar los patrones estatales de la trayectoria tecnológica y económica del sector cañero en una perspectiva espacio-temporal.

**Tabla 2. Valores de probabilidad y promedios de cada variable evaluada por año y a nivel nacional.**

Variable	Valor de p	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023	2023-2024
PAT (t)	0.99	1711720a	1753800a	1712227a	1733021a	1846265a	1493006a	1643201a	1790154a	1512553a	1346336a
SIN (ha)	1	226135.00a	225214.83a	224613.33a	226701.17a	232656.83a	224601.17a	229392.50a	232576.83a	233421.50a	215133.67a
COR (Persona)	1	20786a	21458a	20344a	20812a	22301a	22154.500a	22563a	21138.00a	20619a	19742a
CMM (%)	0.98	16.47a	17.05a	17.32 <sup>a</sup>	16.49a	16.69a	18.34a	18.08a	19.39a	19.18a	21.70a
CAM (%)	0.24	85.29a	84.57a	84.16 <sup>a</sup>	84.38a	86.18a	88.20a	82.49a	79.32a	80.56a	78.27a
KKT (kg/tCB)	0.24	113.00a	113.42a	113.59a	114.81a	114.26a	109.34a	113.40a	115.41a	112.83a	105.72a
PARA (\$/t)	<0.0001	8130.65i	11077.76h	13283.64e	12711.52f	11434.42g	15049.65c	14804.04d	15170.14c	19153.64b	22683.89a
PTC (\$/t)	<0.0001	545.86b	746.93b	900.18b	867.52b	777.52b	2646.98a	1001.04b	1005.63b	1217.62ab	1422.64ab
RENF (%)	0.22	11.25a	11.29a	11.25 <sup>a</sup>	11.42a	11.33a	10.79a	11.21a	11.48a	11.19a	10.28a
RENA (t/ha)	0.56	8.09a	8.23a	7.96 <sup>a</sup>	7.98a	8.32a	7.23a	7.73a	8.23a	7.14a	6.78a

Literales diferentes en filas indican diferencias significativas. PAT = Producción de azúcar total; SIN = Superficie industrializada; COR= Cortadores; CMM = Caña cosechada mecánicamente; CAM= Caña alzada mecánicamente= KKT= KARBE teórico-tonelada de caña bruta; PARA= Precio de referencia del azúcar para el pago de la caña; PTC= Precio por tonelada de caña neta; RENF= Rendimiento de fábrica; RENA= Rendimiento agroindustrial

Fuente: Tabla elaborada con datos de CONADESUCAR 2014-2024.

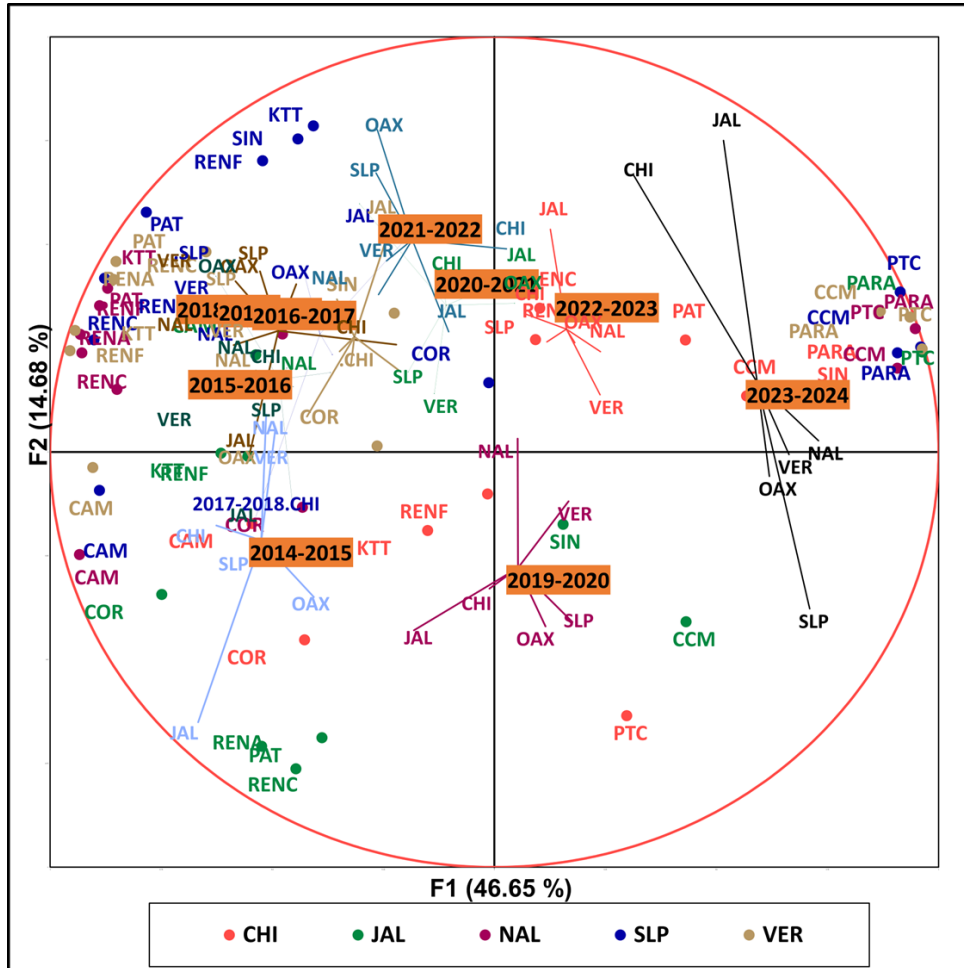


Figura 7. Circulo de correlaciones variables y factores Año de producción y Estados. PAT = Producción de azúcar total; SIN = Superficie industrializada; COR= Cortadores; CMM = Caña cosechada mecánicamente; CAM= Caña alzada mecánicamente= KKT= KARBE teórico-tonelada de caña bruta; PARA= Precio de referencia del azúcar para el pago de la caña; PTC= Precio por tonelada de caña neta; RENC= Rendimiento de campo de fábrica; RENA= Rendimiento agroindustrial. Fuente: Gráfico elaborado con datos de CONADESUCAR 2014-2024.

La configuración de estas trayectorias sugiere un cambio gradual en la lógica de funcionamiento de la agroindustria azucarera mexicana. Mientras que en el primer periodo predominó una orientación hacia el volumen y la eficiencia productiva, la etapa intermedia reflejó tensiones asociadas a factores estructurales y climáticos que alteraron la estabilidad del sistema. En los años más recientes, el desplazamiento hacia variables económicas y de mecanización indica una reconfiguración del modelo productivo, en el que la competitividad depende cada vez más de la capacidad de gestionar costos, precios y tecnologías, en un entorno marcado por mayor incertidumbre climática y volatilidad de los mercados (Altieri *et al.*, 2017; Voora *et al.*, 2023; Szajner & Hryszko, 2024).

### Limitaciones de la investigación

Los hallazgos de esta investigación exponen los contrastes de tecnificación entre estados, así como las principales trayectorias. Sin embargo, es importante efectuar investigaciones que permitan analizar la intergeneracionalidad de productores de caña de azúcar con el objetivo de identificar la actitud para la adopción de tecnología como un recurso para fortalecer la capacitación y transferencia tecnológica según las necesidades de las regiones cañeras ante los desafíos del mercado y del cambio climático.

## CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos se concluye que durante la década de 2014-2024 a escala regional hay trayectorias diferenciadas donde los Estados de Jalisco y San Luis Potosí destacan por tener mayor mecanización a diferencia del estado de Veracruz quien exhibe retrocesos recientes en superficie y volumen a pesar de seguir siendo referente nacional. El Estado de Chiapas muestra resiliencia y cercanía a los vectores de precios y Oaxaca mantiene una resistencia a la modernización tecnológica. Las trayectorias claves estuvieron marcadas por altos volúmenes y eficiencia (2014–2018), tensiones estructurales (2019–2021) y mecanización y la dinámica de precios (2022–2024). Estas trayectorias ponen en evidencia las vulnerabilidades del sector cañero que contribuyeron a las pérdidas de volumen a nivel nacional y que fueron compensadas parcialmente por altos precios con una alta dependencia entre variables productivas y económicas. Estos hallazgos subrayan la necesidad de impulsar políticas públicas diferenciadas y estrategias de sostenibilidad para fortalecer la transición hacia sistemas mecanizados y resilientes que permitan garantizar la viabilidad de la agroindustria cañera mexicana de alta competitividad ante la volatilidad de los mercados y los efectos del cambio climático.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca de doctorado para el primer autor.

**Funding.** The authors received no funding.

**Conflict of interest.** The authors declare that they have no conflict of interest.

**Compliance with ethical standards.** Not applicable.

**Data availability.** The data are available from the first author.

**Author contribution statement (CRediT).** **J. Armida-Lozano** – Conceptualization, Methodology, Investigation, Writing – original draft. **E.J. Ramírez-Rivera** – Conceptualization, Methodology, Investigation, Writing – original draft. **D.E. Platas-Rosado** – Conceptualization, Methodology, Investigation, Writing – original draft. **G. López-Romero** – Methodology, Investigation. **F. Gallardo-López** – Methodology,

Validation. **G. Hernández-Salinas** – Resources, Validation, Writing – original draft. **J.C. Hernández-Arzaba** – Software, Resources, Validation, Visualization.

## REFERENCES

- Addinsoft., 2022. *XLSTAT statistical and data analysis solution*. New York, NY: Addinsoft. Available at: <https://www.xlstat.com/>
- Aguilar-Rivera, N., 2014. Reconversión de la cadena agroindustrial de la caña de azúcar en Veracruz, México', *Nova Scientia*, 6(12), pp. 125–161. Available at: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-07052014000200007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052014000200007&lng=es&tlng=es)
- Armida-Alcudia, L., Ruiz-Rosado, O., Salgado-García, S., Gallardo-López, F., Nava-Tablada, M.E., and Juárez-López, J. F., 2011. Socioeconomic and technological factors in sugar cane (*Saccharum officinarum* L.) agroecosystems production in Chontalpa, Tabasco, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(3), pp. 261-269.
- Aguilar-Rivera, N., 2018. A framework for the analysis of socioeconomic and geographic sugarcane agro industry sustainability, *Socio-Economic Planning Sciences*, 66, pp. 149-160. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.07.006>
- Altieri, M.A., Nicholls, C.I. and Montalba, R., 2017. Technological approaches to sustainable agriculture at a crossroads: An agroecological perspective. *Sustainability*, 9(3), pp. 349. <https://doi.org/10.3390/su9030349>
- Candelario-Rosales, L.L., Ávila-Bello, C.H., Flota-Bañuelos, C., Fraire-Cordero, S. and Rosales-Martínez, V., 2025. Evaluación de indicadores de sustentabilidad del agroecosistema de caña de azúcar en Sihochac, Champotón, Campeche, México, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 28(2), pp. 071. <https://doi.org/10.56369/tsaes.5935>

- Castillo, J. L., González, D.X. and Soto, J.M., 2018. Agroindustria de la caña de azúcar: desafíos para el sector agrícola, *Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA*, 7(13), pp. 10–17. <https://doi.org/10.29057/icea.v7i13.3503>
- Chapae, C., Songsri, P., Gonkhamdee, S. and Jongrunklang, N., 2020. Understanding drought responses of sugarcane cultivars controlled under low water potential conditions, *Chilean Journal of Agricultural Research*, 80(3), pp. 370–380. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392020000300370>
- CONADESUCA., 2025. Programa institucional del Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar 2025–2030. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- CONADESUCA., 2024. *Informe estadístico del sector agroindustrial de la caña de azúcar en México. Zafra 2013-2014/2023-2024*. Ciudad de México: Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar.
- Deuja, A., Khant, M., Silalertruksa, T., Gheewala, S. and Prapaspongsa, T., 2025. Implications of technological improvement and circular agriculture on environmental sustainability of sugarcane production, *Cleaner Environmental Systems*, 18, pp.100285. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2025.100285>
- DOF., 2005. Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. Diario Oficial de la Federación, 22 de agosto de 2005. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/ldsca.htm>.
- Ferraz, D., Oliveira, F.C.R., Rebelatto, D.A.N. and Pyka, A., 2021. Mechanization in sugarcane production and other agricultural activities: An econometric analysis of employment and income, *Gestão & Produção*, 28(4), pp. e5768. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2021v28e5768>
- Figueroa-Rodríguez, K.A., Hernández-Rosas, F., Figueroa-Sandoval, B., Velasco-Velasco, J. and Aguilar-Rivera, N., 2019. What has been the focus of sugarcane research A bibliometric overview', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(18), pp. 3326. <https://doi.org/10.3390/ijerph16183326>
- Flores-Mariscal, J. R., 2021. Determinantes de la precariedad del trabajo jornalero agrícola en México. *Región y Sociedad*, 33 (1), pp. e1487 <https://doi.org/10.22198/rys2021/33/1487>
- Gómez-Merino, F.C., Trejo-Téllez, L.I., Salazar-Ortiz, J., Pérez-Sato, J.A., Senties-Herrera, H.E., Bello-Bello, J.J. and Aguilar-Rivera, N., 2017. La diversificación de la agroindustria azucarera como estrategia para México, *Agro Productividad*, 10 (11), pp. 7-12.
- Hernández-Cázares, A.S., 2014. La agroindustria de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en México, *Agro Productividad*, 7(2), pp. 35–44.
- Herrera-Solano, A., Herrera Reyes, M., Verdejo Lara, R.A., Real Garrido, C.J. and Castillo Morán, A., 2023. Cosecha de la caña de azúcar y su impacto social en Veracruz. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 11(1), pp.13-20. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v11i1.456>
- Horta, J.M. and Zepeda, M.C., 2024. Análisis comparativo entre sistema de zafra por parcela y por lote en el valle El Grullo-Autlán, *Scientia Tecnológica*, 1(3), pp. 42-45. <https://doi.org/10.1234/6per3h50>
- Jeongwoo, H., Dunn, J.B., Cai, H., Elgowainy, A. and Michael, Q., 2012. *Updated sugarcane parameters in GREET1\_2012, second revision*. Argonne National Laboratory. Available at: <http://greet.es.anl.gov/publication-greet-updated-sugarcane>
- Josse, J., Pagés, J. and Husson, F., 2008. Testing the significance of the RV coefficient, *Computational Statistics & Data Analysis*, 53, pp. 82–91.

- <https://doi.org/10.1016/j.csda.2008.06.012>
- Limna, J.B., Kamaraj, P., Thambidurai, S., Thiyagarajan, R., Sivakumar, S.D. and Kathiravan, M., 2025. Review of mechanical sugarcane harvesters: Performance, efficiency and crop suitability, *Plant Science Today*, 12, pp.1-5. <https://doi.org/10.14719/pst.6597>
- Moreno-Seceña, J.C., Landeros-Sánchez, C., Pérez-Vázquez, A., Castañeda-Chávez, M.R., López-Collado, C.J. and Palacios-Vélez, O.L., 2011. Nitrogen management in sugarcane and its influence on yield, profitability and leaching losses, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(3), pp. 373–379.
- Oliveira, F.C.R., 2009. *Ocupação, emprego e remuneração na cana-de-açúcar e em outras atividades agropecuárias no Brasil, de 1992 a 2007*. Master's thesis. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Ortiz Laurel, H., Salgado García, S., Castelán Estrada, M. and Córdova Sánchez, S., 2012. Perspectivas de la cosecha de la caña de azúcar cruda en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(spe4), 767-773. Recuperado en 18 de diciembre de 2025, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342012000900020&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000900020&lng=es&tlng=es)
- Parascanu, M.M., Sánchez, N., Sandoval-Salas, F., Carreto, C.M., Soreanu, G. and Sanchez-Silva, L., 2021. Environmental and economic analysis of bioethanol production from sugarcane molasses and agave juice, *Environmental Science and Pollution Research International*, 28(45), pp. 64374–64393. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15471-4>
- Pérez-Medina, P.P., 2022. La agroindustria cañera en México y los factores que han determinado su historia reciente (1961-2021), *Revista Inclusiones*, 9, pp. 41–70.
- Quiroz-Guerrero, I., Pérez-Vázquez, A., Landeros-Sánchez, C., Morales-Ramos, V. and Zetina-Lezama, R., 2011. Percepción y actitud de productores cañeros sobre la composta de cachaza y vinaza, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(3), pp. 847–856.
- Rangel-Zaragoza, J.L., Aguilar-Ávila, J., Valdivia-Alcalá, R. and Leos-Rodríguez, J.A., 2021. Jornaleros agrícolas migrantes y su permanencia laboral en los campos agrícolas de México, *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 18, pp. 635–661. <https://doi.org/10.22231/asyd.v18i4.1548>
- Reyes-Gutiérrez, J.A., Guerra-Medina, C.E. and Montañez-Valdez, O.D., 2015. Chemical composition and in situ evaluation of fresh and ensiled sugarcane (*Saccharum officinarum*), *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18(3), pp. 273–277.
- Santiago-Zárate, I.M., Martínez-Damián, M.Á., Cuevas-Alvarado, C.M., Valdivia-Alcalá, R., García-Hernández, M.I. and Hernández-Toscano, J., 2021. Productividad y cambio tecnológico en la agroindustria de la caña de azúcar en México, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(6), pp. 1005–1017. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.692>
- Seabra, J.E.A., Macedo, I.C., Chum, H.L., Faroni, C.E. and Sarto, C.A., 2011. Life cycle assessment of Brazilian sugarcane products: GHG emissions and energy use, *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 5, pp. 519–532. <https://doi.org/10.1002/bbb.289>
- Sentíes-Herrera, H.E., Gómez-Merino, F.C., Valdez-Balero, A., Silvia-Rojas, H.V. and Trejo-Téllez, L. I., 2014. The agro-industrial sugarcane system in Mexico: Current status, challenges and opportunities, *Journal of Agricultural Science*, 6(4). <https://doi.org/10.5539/jas.v6n4p26>
- SIAP., 2025. *Anuario estadístico de la producción agrícola*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Available at: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

- Solano, C.S., Ponciano, N.J., Azevedo, H.J.D., & Souza, P.M.D., 2017. Factors limiting the implementation of mechanical harvesting of sugarcane in Campos dos Goytacazes, RJ, Brazil. *Revista Ceres*, 64(1), 40-46. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764010006>
- Stanimirova, I., Walczak, B. and Massart, D.L., 2005. Multiple factor analysis in environmental chemistry. *Analytica Chimica Acta*, 545(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.04.054>
- Szajner, P. and Hryszko, K., 2024. Cyclical fluctuations on the global sugar market in the context of the war in Ukraine, *European Research Studies Journal*, 27(3), pp. 482-498. <https://doi.org/10.35808/ersj/3451>
- Villegas-Vilchis, A., Platas-Rosado, D., Gallardo-López, F. and López-Romero, G., 2020. Análisis estructural MicMac para determinar las variables estratégicas de la agroindustria azucarera en México, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6), pp. 1325–1335. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2194>
- Voora, V., Bermúdez, S., Le, H., Larrea, C. and Luna, E., 2023. *Global market report: Sugar cane prices and sustainability*. International Institute for Sustainable Development. Available at: <https://www.iisd.org/publications/report/2023-global-market-report-sugar-cane>