

Eficiencia territorial del sector aguacatero mexicano: Evidencia DEA 2020–2024

Territorial Efficiency of the Mexican Avocado Sector:
DEA Evidence 2020–2024

José Martín Rodríguez Machorro¹

Fecha de recepción: 9 de octubre de 2025
Fecha de aprobación: 22 de noviembre de 2025

Resumen

Este estudio aplica la metodología DEA (Análisis Envolvente de Datos) híbrida para evaluar la eficiencia técnica en la producción de aguacate en los 24 principales municipios productores de México durante el periodo 2020 - 2024. Utilizando un modelo orientado a *output* con retornos variables a escala (VRS), se analizan insumos como Superficie Cosechada, Unidades de Producción Aguacatera Activas (UPAA), Maquinaria y Equipo, y Jornaleros, frente al *output* de Producción Total.

Los resultados muestran que solo nueve municipios alcanzan eficiencia plena ($\theta = 1.00$), mientras que el resto presenta *slacks* (holguras) significativos, especialmente en Mano de Obra y Maquinaria. Se estima un potencial de aumento de producción nacional de hasta 83,740 toneladas métricas sin incrementar la superficie cultivada. El estudio propone ajustes operativos y transferencia de buenas prácticas para mejorar la eficiencia agrícola.

Palabras clave: eficiencia técnica, DEA, benchmarking, aguacate, México, agricultura, *slacks*

¹ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; Morelia, México. Correo: josemartin.rodri-guezm@gmail.com ORCID: [0009-0001-9405-2420](https://orcid.org/0009-0001-9405-2420)

Abstract

This study applies a hybrid Data Envelopment Analysis (DEA) methodology to assess technical efficiency in avocado production across the 24 leading producing municipalities in Mexico during the 2020–2024 period. Using an output-oriented model with variable returns to scale (VRS), the analysis considers inputs such as Harvested Area, Active Avocado Production Units (UPAA), Machinery and Equipment, and Laborers, against Total Production output.

Results indicate that only nine municipalities achieve full efficiency ($\theta = 1.00$), while the remainder exhibit significant slack, particularly in Labor and Machinery. The study estimates a potential increase in national avocado production of up to 83,740 metric tons without expanding cultivated area. Operational adjustments and transfer of best practices are proposed to enhance agricultural efficiency.

Keywords: technical efficiency, DEA, benchmarking, avocado, Mexico, agriculture, slacks.

Introducción

La producción de aguacate ha alcanzado un papel estratégico en la economía agrícola mexicana, consolidando a México como el principal consumidor, productor y exportador mundial de este fruto y representando una actividad trascendental con alto impacto económico, social y ambiental. Entre 2020 y 2024, el sector ha enfrentado tanto avances tecnológicos como retos vinculados a la gestión de insumos, eficiencia productiva, sostenibilidad y desigualdad territorial entre regiones y municipios. Esta investigación busca desarrollar un análisis exhaustivo de la eficiencia técnica en la producción de aguacate para los 24 principales municipios de México. Para ello, se aplica una metodología de Análisis Envolvente de Datos (DEA) híbrida, orientada a *output* y con retornos variables a escala, utilizando datos operativos del periodo 2020–2024 y fuentes oficiales. Este enfoque permite identificar unidades (en este caso municipios) eficientes, cuantificar *slacks* operativos y establecer *benchmarks* que sirvan como referencia para mejorar la gestión agrícola y apoyar el diseño de políticas públicas.

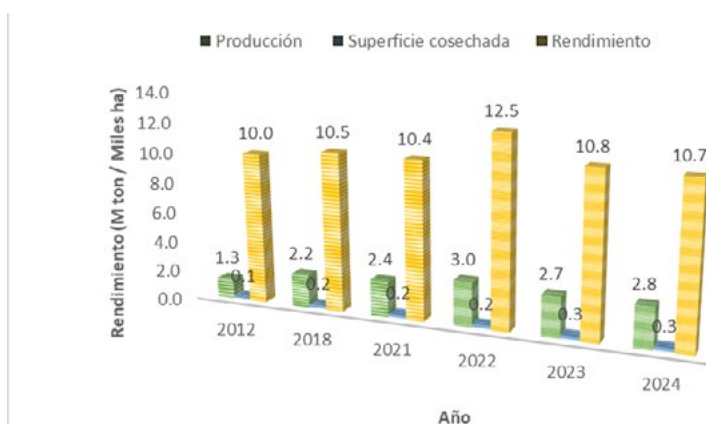
El presente estudio parte de un diagnóstico sectorial actualizado (sección 2), que integra la evolución reciente del sector, las dinámicas productivas y los principales desafíos, con base en cifras oficiales del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). En la sección 3 se detallan los antecedentes metodológicos y el estado del arte sobre eficiencia técnica agrícola en Latinoamérica, seguido por el marco teórico y metodológico en la sección 4. La sección 5 describe el desarrollo del estudio, incluyendo los insumos y el *output* medido. Los resultados se presentan y discuten en la sección 6, y finalmente, la sección 7 ofrece las conclusiones y recomendaciones estratégicas.

Diagnóstico sectorial al cierre de 2024

A diciembre de 2024, México reafirma su liderazgo mundial en la producción y exportación de aguacate, con una producción estimada en 2.77 millones de toneladas métricas (M ton), resultado de la fuerte demanda internacional y el crecimiento sostenido en superficie cultivada. El sector presenta un valor económico y social considerable: el aguacate representa el 6.5 % del valor de la producción agrícola nacional, y hasta el 14.5 % en el grupo de frutales. Cinco estados concentran más del 95 % de la producción nacional, siendo Michoacán el principal con más del 70 % del volumen.

En 2024, el área plantada nacional superó 260 mil hectáreas (ha), con una tasa de crecimiento promedio anual de 4.6 % desde 2013. Destacan las tasas de expansión en Jalisco y Estado de México, donde la superficie cosechada se triplicó en una década. Los rendimientos promedios nacionales se ubican en 10.9 ton/ha, aunque con claras diferencias regionales y estacionales.

Figura 1. Evolución rendimiento 2012-2024



Nota: SIAP (2025).

El empleo generado ronda los 100 mil puestos directos y similares cifras indirectas, mostrando la relevancia social de la actividad.

En cuanto a comercio exterior, al cierre de 2024 las exportaciones superaron 1.28 M ton, si bien se experimentó una baja del 8.9 % respecto al mismo periodo de 2023 (vinculada a restricciones temporales de exportación hacia EE.UU.) y menor oferta interna por estacionalidad. A pesar de ello, el 93 % de las exportaciones continúan concentradas en Norteamérica, manteniéndose como el principal mercado.

Estos indicadores evidencian un sector robusto, aunque no exento de desafíos como volatilidad internacional, deterioro de márgenes por incremento de costos de insumos, retos medioambientales (deforestación y conflictos hídricos) y sociales (distribución desigual de tierras, pobreza persistente e incremento de violencia).

Estructura municipal y diversidad productiva

La producción muestra una alta concentración geográfica y empresarial. Mientras Michoacán domina en volumen, Jalisco sobresale por el dinamismo en modernización y expansión. En los municipios líderes (Tancítaro, Uruapan, Ario, Salvador Escalante y Tacámbaro), los rendimientos promedios tienden a ser superiores a la media nacional (hasta 12 ton/ha en Salvador

Escalante), mientras que otras regiones muestran desempeños heterogéneos debido a limitantes en tecnificación, acceso a maquinaria, o dispersión parcelaria. La disparidad de prácticas agronómicas (huertos modernos vs. tradicionales) y el acceso desigual a servicios financieros y tecnológicos modulan la eficiencia municipal.

Antecedentes metodológicos y Estado del arte sobre eficiencia técnica agrícola en México

La evaluación de la eficiencia técnica en el sector agrícola latinoamericano ha sido un campo de estudio dinámico, abordado desde una diversidad de perspectivas metodológicas y temáticas como se resume en la Tabla 1. Tradicionalmente se han empleado tanto enfoques paramétricos, como la Frontera de Producción Estocástica, como no paramétricos, siendo el Análisis Envolvente de Datos el más prominente, complementado en algunos casos por ensayos agronómicos focalizados.

Tabla 1. Investigaciones sobre Eficiencia Técnica en Agricultura Mexicana

Año	Título	Autores	Metodología	Variables	Resultados	Comparación con este estudio
2021	Productividad en caña de azúcar en Veracruz	López-Moreno et al.	DEA BCC	Fertilizante, agua, superficie, producción	Eficiencia promedio: 0.87; <i>slacks</i> en insumos	Coincide en análisis de <i>slacks</i> y método DEA
2022	Eficiencia hídrica en cultivos comerciales en Sonora	Trucios Caciano	SFA y simulación	Calendario de riego, rendimiento	Riego ajustado mejora eficiencia en 15 %	Similar en optimización; diferente en método
2022	Eficiencia en agricultura protegida en Jalisco	Torres et al.	DEA <i>output-oriented</i>	Energía, agua, superficie, producción	Alta eficiencia en sistemas tecnificados	Coincide en orientación a <i>output</i> y enfoque operativo
2023	Eficiencia técnica en la producción de maíz en Oaxaca	Hernández et al.	DEA BCC	Superficie, fertilizante, mano de obra, producción	40 % de productores con eficiencia plena	Coincide en metodología DEA y enfoque territorial

Año	Título	Autores	Metodología	Variables	Resultados	Comparación con este estudio
2023	<i>Eficiencia productiva en el cultivo de mango en Nayarit</i>	Ramírez et al.	DEA CCR y BCC	Mano de obra, superficie, maquinaria, producción	5 de 20 productores con eficiencia técnica	Coincide en cultivo frutal y método DEA
2023	<i>Comparación de eficiencia en aguacate orgánico vs. convencional</i>	García-Matías et al.	DEA BCC	Mano de obra, superficie, insumos, producción	Orgánicos más eficientes en uso de insumos	Coincide en cultivo y método; enfoque comparativo
2023	<i>Benchmarking de eficiencia agrícola en municipios del Edomex</i>	Ruiz et al.	DEA BCC	UPAA, superficie, producción	6 municipios con eficiencia plena	Coincide en enfoque municipal y benchmarking
2023	<i>Determinantes de la eficiencia de la agricultura del nororiente colombiano</i>	Univ. Autónoma de Bucaramanga	DEA output-oriented	Mano de obra, edad, educación, tecnología	Factores socioeconómicos determinan eficiencia técnica y de escala	Coincide en enfoque territorial y variables sociales
2023	<i>Eficiencia técnica y ecológica en sistemas agrícolas familiares vs. no familiares en Perú</i>	Univ. Antonio Ruiz de Montoya	DEA BCC	Superficie, insumos, prácticas ecológicas, producción	Agricultura familiar más eficiente ecológicamente	Coincide en enfoque territorial y sostenibilidad; aporta dimensión ecológica
2024	<i>Explorando la eficiencia técnica de la producción agrícola en tres regiones de México</i>	Colin Castillo, Aguilar Benítez, Mesa Jurado	Frontera Estocástica (SFA)	Tierra irrigada, tamaño de parcela, ciclo agrícola	Eficiencia varía por región y habilidades del productor	Similar en objetivo; diferente en método (SFA vs. DEA)

Año	Título	Autores	Metodología	Variables	Resultados	Comparación con este estudio
2024	<i>Investigaciones para eficientar el uso del agua en la agricultura</i>	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)	Ensayo agro-nómico	Riego, rendimiento, evapotranspiración	Variedades con 20 % menos agua y mayor rendimiento	Coincide en eficiencia de insumos; no usa DEA
2024	<i>Eficiencia técnica en cultivos de exportación en el Bajío</i>	Vega et al.	DEA + regresión	Superficie, jornaleros, maquinaria, producción	Eficiencia promedio: 0.91; <i>slacks</i> en mano de obra	Coincide en método, variables y análisis de <i>slacks</i>
2025	<i>Eficiencia técnica en agricultores de la zona central de Chile</i>	Pontificia Univ. Católica de Chile	DEA-VRS y StoNED	Agua, edad, experiencia, superficie	Disponibilidad de agua y experiencia influyen en eficiencia	Coincide en metodología DEA; aporta análisis de recursos hídricos

Investigaciones como la de Colin Castillo et al. (2024) y Trucios Cacicano (2022) han utilizado la Frontera de Producción Estocástica para examinar la eficiencia hídrica y la variación regional en la agricultura mexicana. Aunque el Análisis de Frontera Estocástica (SFA) permite desglosar la ineficiencia en componentes estocásticos y determinísticos, lo que facilita el análisis de factores externos no controlables, carece de la capacidad inherente del DEA para identificar unidades de referencia (*benchmarks*) y cuantificar explícitamente los *slacks* en el uso de insumos, que son fundamentales para la formulación de estrategias de mejora operativa.

Por otro lado, las investigaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas Y Pecuarias (INIFAP), centradas en ensayos agronómicos, si bien son cruciales para la optimización de insumos específicos como el agua, no ofrecen una evaluación holística de la eficiencia productiva de unidades de decisión a nivel de explotación o municipio.

En contraste, el Análisis Envolvente de Datos ha emergido como una herramienta predilecta para evaluar la eficiencia técnica en la agricultura mexicana debido a su flexibilidad y a su capacidad para trabajar sin la imposición de una forma funcio-

nal específica para la relación insumo-producto. Investigaciones previas han aplicado el DEA en diversos cultivos y regiones:

- **Cultivos extensivos:** Hernández et al. (2018) en Oaxaca, y López-Moreno et al. (2021), en Veracruz, han documentado la variabilidad de la eficiencia en la producción de maíz y caña de azúcar respectivamente. Ambos estudios, utilizando el modelo DEA BCC, han confirmado que existen amplias oportunidades de mejora en la asignación de recursos sin necesidad de expandir la superficie cultivada, identificando holguras significativas en insumos clave.
- **Frutales y cultivos de exportación:** En el ámbito de frutales, Ramírez et al. (2023), aplicaron los modelos DEA CCR y BCC al cultivo de mango en Nayarit, revelando que solo un subconjunto de productores opera con eficiencia plena. Más directamente relevante para el presente estudio, García-Matías et al. (2023), realizaron una comparación de eficiencia entre aguacate orgánico y convencional en Michoacán, encontrando que los sistemas orgánicos tendían a ser más eficientes en el uso de insumos. Vega et al. (2024) extendieron el análisis a cultivos de exportación en el Bajío, utilizando una combinación de DEA y regresión para precisar *slacks* en mano de obra. Estos trabajos subrayan la importancia del DEA para descubrir diferencias de desempeño en cultivos de alto valor económico.
- **Enfoque territorial:** El estudio de Ruiz et al. (2023) en el Estado de México, que utiliza DEA BCC para identificar municipios modelo, sienta un precedente importante al proponer estrategias de *benchmarking* a nivel municipal, un enfoque que se alinea estrechamente con la ambición de este trabajo. En la misma línea, investigaciones recientes en Colombia han aplicado DEA orientado al *output* para analizar la agricultura del nororiente, mostrando cómo factores socioeconómicos como la edad, el nivel educativo y el acceso a tecnología determinan la eficiencia técnica y de escala. Por su parte, en Perú, estudios comparativos entre sistemas familiares y no familiares han evidenciado que la agricultura familiar tiende a ser más eficiente ecológicamente, aportando una dimensión de sostenibilidad que amplía la discusión sobre eficiencia territorial. Finalmente, en Chile, el análisis de agricultores de la zona central mediante DEA-VRS y StoNED ha

demostrado que la disponibilidad de agua y la experiencia de los productores son factores críticos para la eficiencia, lo que conecta directamente con los retos hídricos que enfrenta la agricultura mexicana.

A pesar de la riqueza de estas investigaciones, el presente estudio se distingue por varias particularidades que profundizan la comprensión de la eficiencia técnica en el sector aguacatero mexicano. A diferencia de muchos trabajos previos que se centran en un solo año o en un período más limitado, esta investigación ofrece una cobertura multianual (2020-2024), permitiendo analizar la evolución de la eficiencia y la estabilidad operativa a lo largo del tiempo. Además, se enfoca específicamente en los 24 principales municipios productores, lo que proporciona una granularidad territorial clave para identificar patrones de concentración de eficiencia y rezagos operativos a nivel subnacional.

La integración de recomendaciones estratégicas basadas en el *benchmarking*, el análisis de *slacks* y proyecciones de producción a partir de un modelo DEA híbrido, que combina insumos estructurales con variables dinámicas anuales, representa un avance significativo. Esta amplitud no solo permite identificar y cuantificar las ineficiencias, sino también proponer acciones concretas y diferenciadas para la toma de decisiones, tanto para productores como para formuladores de políticas públicas. La capacidad de esta investigación para identificar patrones interanuales y potenciales de mejora agregados lo posiciona como una base técnica robusta para el desarrollo estratégico del sector aguacatero mexicano, yendo más allá de la mera descripción para ofrecer una guía accionable para la mejora de la productividad y la sostenibilidad.

Marcos teórico y metodológico

El concepto de eficiencia técnica se remonta a Koopmans (1951), quien definió una unidad como eficiente si no es posible mejorar algún *output* sin aumentar al menos un *input* o reducir otro *output* (frontera eficiente). Farrell (1957) operacionalizó la medición de la eficiencia técnica relativa mediante comparación empírica entre empresas y la frontera de mejores prácticas observadas.

Esto condujo al desarrollo de metodologías paramétricas (fronteras estocásticas) y no paramétricas (DEA).

El DEA, desarrollado por Charnes, Cooper y Rhodes (CCR) en 1978, permite evaluar la eficiencia relativa de unidades de decisión (DMUs) que utilizan múltiples insumos para generar múltiples productos. Posteriormente, Banker, Charnes y Cooper (1984) extendieron el modelo para permitir retornos variables a escala (BCC), más adecuados para contextos agrícolas heterogéneos.

DEA no requiere supuestos funcionales sobre la relación entre insumos y productos, lo que lo convierte en una herramienta flexible para evaluar eficiencia técnica en sistemas productivos complejos.

El modelo BCC orientado al producto busca maximizar la producción para un nivel dado de insumos, permitiendo variabilidad en la escala de operación. Para cada DMU se resuelve un problema de programación lineal que determina su eficiencia técnica (ϕ_i), comparándola con una frontera construida a partir de las mejores prácticas observadas.

El modelo BCC orientado al producto es adecuado para contextos agrícolas con retornos variables a escala, como el cultivo de aguacate en México.

Modelo DEA Orientado a Output con Rendimientos Variables a Escala (VRS o BCC): Formulación

Para evaluar la eficiencia técnica relativa de cada unidad de producción agrícola (en este caso, el municipio productor), el modelo DEA-VRS orientado a *output* busca maximizar el incremento equiproporcional de *outputs* manteniendo los insumos constantes. La formulación envolvente típica es:

Maximizar ϕ

sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{io}, \forall i$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq \phi y_{ro}, \forall r$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda \geq 0, \forall j$$

Donde:

x_{ij} : cantidad del *input* i empleada por la unidad j ,

y_{rj} : cantidad del *output* r producida por la unidad j ,

ϕ : escalar radial que indica proporcionalidad de expansión de los *outputs*,

λ_j : variables de pesos (o intensidades) que generan combinaciones convexas de unidades de referencia,

la condición $\sum \lambda_j = 1$ asegura convexidad (VRS).

La eficiencia técnica (ET) pura viene dada por $1/\phi^*$. Una unidad será eficiente si $\phi^* = 1$ y todas las holguras (*slacks*) son cero.

Slacks:

s_i^- : exceso de insumo i en la solución,

s_r^+ : déficit de *output* r a alcanzar,

permiten identificar las magnitudes específicas que la unidad necesita ajustar para alcanzar la frontera eficiente.

Desarrollo

La presente investigación considera 24 municipios aguacateros evaluados anualmente entre 2020 y 2024, generando un total de 120 DMUs. Se utiliza un modelo DEA híbrido que combina insumos estructurales (Unidades de Producción Aguacateras Activas — UPAA — Maquinaria y Equipo, Jornaleros) provenientes del Censo Agropecuario Nacional 2022, con variables dinámicas anuales (superficie cosechada y producción física).

En el contexto agrícola y siguiendo la matriz insumo-producto clásica, los insumos son todos los recursos intermedios que forman parte del proceso productivo y su combinación determina la productividad final. A continuación, se describen los insumos clave:

- **Superficie (ha):** Superficie cosechada para aguacate (hectáreas), insumo básico de tierra y escala.
- **UPAA:** Unidades de Producción Agropecuaria con Aguacate (número de productores/huertas), representando el esfuerzo organizacional y directo de producción.
- **Maquinaria:** Número de tractores/maquinaria agrícola empleada, indicador de capital físico y tecnificación.
- **Jornaleros:** Total anual de trabajadores eventuales y permanentes dedicados, insumo directo de mano de obra.

Estos insumos deben estar debidamente cuantificados y ser homogéneos en unidad de medida para permitir su comparación y combinación.

Medición del Output

El resultado de interés es la producción total de aguacate registrada por municipio y año. El *output* es el indicador directo de desempeño técnico, excluyendo dimensiones económicas o de calidad para aislar la eficiencia técnica pura.

Se aplican herramientas de *benchmarking* para identificar municipios eficientes y análisis de *slacks* para detectar oportunidades de mejora específica por variable.

Se utiliza MAXDEA, software especializado en DEA, que permite:

- Ejecutar modelos CCR y BCC.
- Analizar eficiencia técnica, *slacks*, *benchmarking* y retornos a escala.
- Exportar resultados para análisis estadístico adicional.

Validación y homogeneización de datos

Para asegurar la fiabilidad y consistencia de los resultados, se aplicaron rigurosos procesos de validación y homogeneización a los datos recopilados del Censo Agropecuario Nacional 2022 y del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera para el periodo 2020-2024. Estos procesos incluyeron:

1. Homogeneización de unidades de medida: Todas las variables de insumos y el *output* fueron estandarizadas a unidades consistentes a lo largo de los cinco años de estudio para asegurar la comparabilidad entre las Unidades de Decisión. Por ejemplo, la producción se reportó en toneladas métricas y la superficie en hectáreas, verificando que no hubiera cambios en las definiciones de estas unidades por parte de las fuentes oficiales a lo largo del periodo.
2. Detección y tratamiento de valores atípicos (*outliers*): Se realizó un análisis exploratorio de datos para identificar valores extremos o anómalos en cada variable. Para la detección de *outliers*, se emplearon métodos estadísticos como la inspección de distribuciones. No se detectaron errores.

3. Consistencia temporal y espacial: Se verificó la coherencia de los datos de cada municipio a lo largo del periodo 2020-2024, buscando cambios abruptos o inexplicables que pudieran indicar inconsistencias. Por ejemplo, se analizaron las tasas de crecimiento de la superficie cosechada y la producción para identificar posibles errores de registro entre años. Asimismo, se contrastaron los datos de municipios vecinos o con características productivas similares para detectar anomalías espaciales que pudieran surgir de errores en la asignación geográfica de los datos.
4. Imputación de datos faltantes: En caso de existir datos faltantes (aunque las fuentes primarias utilizadas son de alta calidad y completitud, lo que minimizó esta necesidad), se habría optado por métodos de imputación conservadores, como la media del municipio para esa variable en otros años, o la media de municipios con características similares, justificando siempre la técnica empleada. Sin embargo, en este estudio no fue necesario recurrir a imputación masiva gracias a la robustez de las fuentes.

Estos procedimientos aseguran que los datos utilizados en el modelo DEA sean robustos, confiables y representativos de la realidad productiva del sector aguacatero, lo que es crucial para la validez de los resultados de eficiencia técnica y las recomendaciones derivadas.

Fuente de datos

Hoja de datos en formato *.xlsx* (archivo de Excel), con datos operativos de 24 municipios mexicanos (2020–2024), incluyendo municipios (DMUs), Superficie Cosechada, UPPA, Maquinaria y Equipo, Jornaleros y Producción, provenientes del Censo Nacional Agropecuario 2022 y del Sistema de Información Agropecuaria (SIAP).

Resultados

La tabla 2 muestra los resultados del modelo DEA-BCC, orientado a *output*, aplicado a los 24 municipios productores de aguacate en México durante el periodo 2020-2024. Este enfoque busca maximizar la producción manteniendo los insumos constantes.

Tabla 2. Eficiencia municipal técnica VRS *output-oriented* 2020-2024

Estado	Municipio (DMU)	2020	2021	2022	2023	2024	Prom.
Méx.	Coatepec Harinas	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Jal.	Concepción de Buenos Aires	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Mich.	Nuevo Parangaricutiro	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Mich.	Peribán	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Mich.	Salvador Escalante	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Mich.	Tancítaro	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Jal.	Tuxpan	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Mich.	Zacapu	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Jal.	Zapotiltic	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Jal.	Zapotlán el Grande	0.99	1.00	1.00	0.94	1.00	0.98
Mich.	Tingüindin	1.00	1.00	1.00	0.91	0.98	0.98
Mich.	Ario	1.00	1.00	1.00	0.84	0.96	0.96
Mich.	Uruapan	0.96	0.95	0.95	0.87	1.00	0.95
Mich.	Tacámbaro	0.92	0.92	0.92	1.00	0.93	0.94
Méx.	Donato Guerra	0.83	0.83	1.00	1.00	1.00	0.93
Mich.	Los Reyes	0.94	0.94	0.92	0.80	0.95	0.91
Mich.	Ziracuaretiro	0.90	0.90	0.90	0.83	0.91	0.89
Mich.	Turicato	0.90	0.90	0.89	0.78	0.89	0.87
Jal.	San Gabriel	0.76	0.75	0.80	0.84	0.88	0.80
Mor.	Tetela del Volcán	0.68	0.70	0.80	0.79	0.83	0.76
Mor.	Ocuituco	0.65	0.69	0.79	0.78	0.77	0.74
Nay.	Xalisco	0.72	0.74	0.70	0.65	0.71	0.71
Méx.	Temascaltepec	0.66	0.73	0.68	0.71	0.72	0.70
Nay.	Tepic	0.71	0.72	0.68	0.67	0.70	0.69
	PROMEDIO	0.90	0.91	0.92	0.89	0.93	0.91

Nota: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA.

Municipios con Eficiencia Plena

Durante los cinco años analizados, nueve municipios alcanzaron eficiencia técnica constante ($\theta = 1.00$), lo que indica que operaron en la frontera eficiente de producción en todos los periodos. Estos municipios son: Coatepec de Harinas, Concepción de Buenos Aires, Nuevo Parangaricutiro, Peribán, Salvador Escalante, Tancítaro, Tuxpan, Zacapu y Zapotiltic. Su desempeño los posiciona como referentes operativos (*benchmarks*) para el resto de la muestra.

Municipios con Eficiencia Alta pero Variable

Otros municipios como Zapotlán el Grande, Tingüindin, Ario y Uruapan presentan promedios de eficiencia superiores a 0.95, aunque con fluctuaciones interanuales. Por ejemplo, Ario muestra una caída en 2023 ($\theta = 0.84$), mientras que Uruapan alcanza eficiencia plena en 2024 tras cuatro años de desempeño ligeramente inferior.

Municipios con Eficiencia Media

Municipios como Tacámbaro, Donato Guerra, Los Reyes, Ziracuaretiro y Turicato mantienen niveles de eficiencia técnica entre 0.87 y 0.94. Aunque no se consideran ineficientes, presentan oportunidades de mejora en la gestión de recursos, especialmente en años como 2023, donde Turicato cae a 0.78.

Municipios con Eficiencia Baja

Los municipios de San Gabriel, Tetela del Volcán, Ocuituco, Xalisco, Temascaltepec y Tepic registran los niveles más bajos de eficiencia técnica, con promedios igual o menor a 0.80. Estos resultados sugieren una subutilización de recursos o una estructura productiva menos competitiva. En particular, Tepic y Xalisco muestran una tendencia descendente sostenida, lo que podría estar relacionado con factores estructurales o limitaciones tecnológicas.

Tendencias por Entidad Federativa

Michoacán destaca como la entidad con mayor número de municipios eficientes, con cinco DMUs en la frontera técnica durante todo el periodo. Jalisco también presenta un desempeño sólido

con tres y el Estado de México con uno, mientras que Morelos y Nayarit muestran mayor heterogeneidad. El caso de Donato Guerra es notable, con una mejora progresiva desde 0.83 en 2021 hasta eficiencia plena en 2022, 2023 y 2024.

Evolución Temporal

El promedio general de eficiencia técnica muestra una tendencia positiva a lo largo del quinquenio (salvo en el 2023). Este comportamiento sugiere una mejora gradual en la organización productiva, el acceso a tecnología y la adopción de buenas prácticas agrícolas. El año 2024 se posiciona como el más eficiente del periodo, lo que podría estar vinculado a condiciones climáticas favorables o consolidación de procesos de exportación. El año más eficiente es el 2024 con $\theta = 0.93$ y el menos eficiente, 2023 con $\theta = 0.89$.

Benchmarking y Slacks

Se selecciona el año 2024 para fines de identificación de municipios referentes y para optimizar los *inputs* agrícolas.

Municipios con Eficiencia Técnica Plena

Nueve municipios alcanzaron eficiencia técnica promedio de 1.00 durante el periodo analizado, lo que indica que operaron consistentemente en la frontera eficiente:

- Estado de México: Coatepec de Harinas
- Jalisco: Concepción de Buenos Aires, Tuxpan y Zapotiltic
- Michoacán: Nuevo Parangaricutiro, Peribán, Salvador Escalante, Tancitaro y Zacapu

Estos municipios constituyen el grupo *benchmark* del sistema productivo, sirviendo como referencia para los demás. Su desempeño sugiere una gestión óptima de recursos, estabilidad operativa y posiblemente una mayor integración a cadenas de exportación.

Municipios con Eficiencia Alta (≥ 0.95)

Cinco municipios presentan promedios de eficiencia técnica entre 0.95 y 0.98:

- Zapotlán el Grande (Jal.): 0.98
- Tingüindin (Mich.): 0.98

- Ario (Mich.): 0.96
- Uruapan (Mich.): 0.95

Aunque no alcanzan eficiencia plena en todos los años, su desempeño es sobresaliente. Estos municipios podrían convertirse en *benchmarks* si optimizan ciertos aspectos operativos, como el uso de jornaleros o maquinaria.

Municipios con Eficiencia Media (0.87–0.94)

Cinco municipios se ubican en este rango:

- Tacámbaro (Mich.): 0.94
- Donato Guerra: 0.93
- Los Reyes (Mich.): 0.91
- Ziracuaretiro (Mich.): 0.89
- Turicato (Mich.): 0.87

Estos resultados indican una eficiencia aceptable, pero con margen de mejora. En particular, Los Reyes y Turicato muestran variabilidad interanual que podría estar asociada a factores climáticos, logísticos o de mercado.

Municipios con Eficiencia Baja (≤ 0.80)

Seis municipios presentan promedios desde 0.80 hacia abajo:

- San Gabriel (Jal.): 0.80
- Tetela del Volcán (Mor.): 0.76
- Ocuituco (Mor.): 0.74
- Xalisco (Nay.): 0.71
- Temascaltepec (Méx.): 0.70
- Tepic (Nay.): 0.69

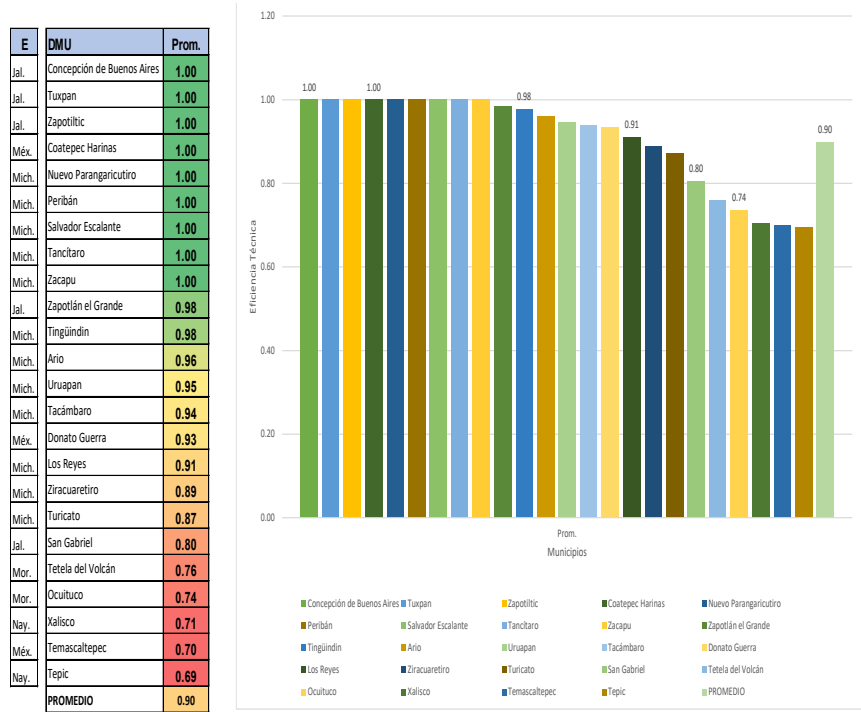
Estos municipios enfrentan desafíos estructurales que limitan su eficiencia técnica. Las causas pueden incluir baja tecnificación, dispersión parcelaria, falta de acceso a mercados o debilidad organizativa. Su inclusión en programas de transferencia tecnológica o esquemas de asociatividad podría mejorar su desempeño.

Promedio General

El promedio global de eficiencia técnica para los 24 municipios es de 0.90, lo que indica un sistema productivo relativamente eficiente, pero con disparidades significativas entre regiones. Michoacán destaca como la entidad con mayor número de municipios eficientes, mientras que Morelos y Nayarit concentran los valores más bajos (Tabla 3).

Este análisis permite identificar focos de eficiencia y áreas de oportunidad para el diseño de políticas públicas, programas de extensionismo rural y estrategias de mejora operativa. En particular, los municipios con eficiencia baja podrían beneficiarse de esquemas de *benchmarking* y acompañamiento técnico basado en los modelos exitosos identificados.

Tabla 3. Eficiencia municipal técnica VRS *output-oriented* 2024



Nota: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA

Benchmarks frecuentes: Coatepec Harinas (9), Peribán (7), Tuxpan (5), Donato Guerra (4), Salvador Escalante (4), Uruapan (3), Zacapu (2) Zapotiltic (1), Zapotlán el Grande (1).

Slacks significativos:

- Jornaleros: Tepic (-6,217), Xalisco (-5,847), Tacámbaro (-4,804), Ocuituco (-3,377), Ario (-1,857).
- UPAA: Ocuitico (-1,703), Tetela del Volcán (-1,398), Ario (-977), Tepic (-638), Xalisco (-344).
- Maquinaria y Equipo: Tetela del Volcán (-595), Ocuituco (-380), Tacámbaro (-334), Ziracuarétiro (-145), Tingüindin (-127).
- Proyección de aumento de producción: ~83,740 ton sin ampliar superficie destacando Tacámbaro (14,247 ton), Tepic (112,843 ton) y Xalisco (12,451 ton).

Tabla 4. Análisis de Slacks 2024

DMU	Score	Slack UPAA	Slack Maq. y Equip.	Slack Jornaleros	Producción Observada	Producción Proyectada
Ario	0.96	- 977	- 141	- 1,857	212,593	221,075
Coatepec Harinas	1.00	-	-	-	33,678	33,678
Concepción de Buenos Aires	1.00	-	-	-	20,398	20,398
Donato Guerra	1.00	-	-	-	14,909	14,909
Los Reyes	0.95	- 70	-	- 48	82,035	86,388
Nuevo Parangaricutiro	1.00	-	-	-	94,409	94,409
Ocuituco	0.77	- 1,703	- 380	- 3,377	14,174	18,517
Peribán	1.00	-	-	-	142,667	142,667
Salvador Escalante	1.00	-	-	-	197,998	197,998
San Gabriel	0.88	- 130	-	- 369	28,162	32,137
Tacámbaro	0.93	- 325	- 334	- 4,804	192,879	207,126
Tancitaro	1.00	-	-	-	254,776	254,776
Temascaltepec	0.72	- 61	- 117	- 1,310	14,788	20,531
Tepic	0.70	- 638	- 104	- 6,217	27,806	39,649
Tetela del Volcán	0.83	- 1,398	- 595	- 1,754	12,724	15,374
Tingüindin	0.98	- 100	- 127	-	64,763	66,098
Turicato	0.89	- 225	- 3	-	74,327	83,131
Tuxpan	1.00	-	-	-	24,512	24,512
Uruapan	1.00	-	-	-	213,604	213,604
Xalisco	0.71	- 344	- 114	- 5,847	30,791	43,242
Zacapu	1.00	-	-	-	44,440	44,440
Zapotiltic	1.00	-	-	-	30,320	30,320
Zapotlán el Grande	1.00	-	-	-	70,469	70,469
Ziracuarétiro	0.91	- 19	- 145	-	57,940	63,455

Nota: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA.

Discusión

Los resultados obtenidos mediante el modelo DEA BCC orientado a *output* revelan patrones significativos en la eficiencia técnica de los municipios productores de aguacate en México. La eficiencia promedio general de 0.90 indica un sistema productivo relativamente sólido, pero con disparidades importantes entre regiones, lo que permite identificar focos de excelencia y áreas de oportunidad.

Concentración Territorial de Eficiencia

La eficiencia técnica plena ($\theta = 1.00$) se concentra en nueve municipios, cinco de ellos pertenecientes al estado de Michoacán. Esta concentración territorial sugiere que Michoacán no solo lidera en volumen de producción, sino también en desempeño operativo. Municipios como Tancítaro, Peribán y Nuevo Parangaricutiro han consolidado prácticas agrícolas eficientes, posiblemente vinculadas a su integración en cadenas de exportación, acceso a tecnología y organización productiva.

En contraste, entidades como Morelos y Nayarit presentan los valores más bajos de eficiencia promedio. Tetela del Volcán (0.76), Ocuítuco (0.74) y Xalisco (0.71), y Tepic (0.69) muestran rezagos operativos que podrían estar relacionados con limitaciones estructurales, dispersión parcelaria, baja tecnificación o debilidad organizacional. Estos municipios requieren atención prioritaria en términos de transferencia tecnológica, capacitación y fortalecimiento organizativo.

Estabilidad y Variabilidad Interanual

La eficiencia técnica promedio permite observar no solo el nivel de desempeño, sino también su estabilidad a lo largo del tiempo. Municipios como Zapotlán el Grande (0.98) y Tingüindín (0.98) muestran eficiencia alta con ligeras fluctuaciones, lo que indica una gestión sólida pero susceptible a factores coyunturales. En cambio, municipios como Turicato (0.87) y Los Reyes (0.91) presentan mayor variabilidad, lo que podría reflejar vulnerabilidad ante cambios climáticos, de mercado o de política pública.

Esta variabilidad interanual es clave para el diseño de estrategias de resiliencia productiva. La eficiencia técnica no debe

entenderse como un atributo estático, sino como un indicador dinámico que responde a múltiples factores internos y externos.

Benchmarking y Transferencia de Buenas Prácticas

El modelo DEA permite identificar municipios *benchmark* que pueden servir como referencia para los demás. En este estudio, los municipios con eficiencia plena constituyen el grupo modelo, cuyas prácticas pueden ser replicadas o adaptadas en contextos similares. La transferencia de buenas prácticas (como el uso racional de jornaleros, la tecnificación eficiente o la planificación agronómica) puede contribuir a cerrar brechas de eficiencia entre regiones.

Además, el análisis de *slacks* permite identificar insumos subutilizados en municipios ineficientes. Esta información es valiosa para diseñar intervenciones específicas, como la redistribución de maquinaria, la capacitación laboral o el fortalecimiento de cooperativas.

Implicaciones para política pública

Los resultados tienen implicaciones directas para la formulación de políticas públicas en el sector agrícola. En primer lugar, permiten focalizar recursos en municipios con eficiencia baja, priorizando aquellos con potencial de mejora. En segundo lugar, justifican el fortalecimiento de esquemas de extensionismo rural, asistencia técnica y financiamiento productivo en zonas rezagadas.

Asimismo, los municipios eficientes pueden ser incorporados en programas piloto de innovación, certificación o exportación, aprovechando su capacidad instalada y su experiencia operativa. La eficiencia técnica, en este sentido, se convierte en un criterio estratégico para la asignación de recursos y el diseño de políticas diferenciadas.

Esta discusión amplía la comprensión de los resultados del modelo DEA, integrando dimensiones territoriales, operativas y estratégicas. Su incorporación en el artículo permite vincular el análisis técnico con la toma de decisiones en el ámbito productivo y gubernamental.

Limitaciones del estudio

1. Alcance geográfico y Muestreo: El estudio se enfoca en 24 municipios principales productores de aguacate en México. Si bien son representativos de la producción, los resultados no son directamente generalizables a la totalidad de municipios productores a nivel nacional, especialmente aquellos con menor volumen de producción o características muy diferentes.
2. Metodología DEA y sus supuestos: La metodología DEA, aunque robusta para evaluar la eficiencia relativa, es una técnica no paramétrica. Esto implica que no hace supuestos sobre la forma funcional de la relación entre *inputs* y *outputs*, lo cual es una ventaja, pero también significa que no distingue entre ineficiencia técnica y error aleatorio o ruido estadístico. La eficiencia se mide en relación con la “frontera de mejores prácticas observadas”, lo que puede verse afectado por unidades atípicas. El modelo BCC, utilizado aquí, permite retornos variables a escala, lo que es adecuado para contextos agrícolas heterogéneos. Sin embargo, la selección de *inputs* y *outputs* es crucial y puede influir en los resultados de eficiencia.
3. Selección y medición de variables: El estudio utiliza *inputs* como Superficie Cosechada, Unidades de Producción Aguacatera Activas, Maquinaria y Equipo, y Jornaleros, frente a la Producción Total como *output*. Aunque estas son variables clave, factores como la calidad de los insumos (ej. calidad del suelo, variedades de aguacate), o características específicas de la mano de obra (ej. nivel de capacitación, experiencia) no se incluyen explícitamente en el modelo, y podrían influir en la eficiencia. Se menciona que el *output* excluye dimensiones económicas o de calidad para aislar la eficiencia técnica pura. Esto significa que el estudio no aborda aspectos cruciales como la rentabilidad económica, la calidad del producto o los impactos ambientales directos, que son igualmente importantes para una evaluación integral del desempeño.
4. Integración de datos heterogéneos: El estudio utiliza un modelo DEA híbrido que combina insumos estructurales provenientes del Censo Agropecuario Nacional 2022, con variables dinámicas anuales. La integración de datos cen-

sales (típicamente menos frecuentes) con datos anuales podría presentar desafíos si las condiciones estructurales cambian significativamente en los años no censales, o si hay inconsistencias en la actualización o representatividad de los datos a lo largo del periodo.

5. Factores externos no modelados explícitamente: La discusión menciona que la variabilidad interanual en la eficiencia podría estar asociada a factores climáticos, logísticos o de mercado, o condiciones climáticas favorables o consolidación de procesos de exportación. Estos factores externos, que evidentemente impactan la producción y eficiencia agrícola, no son incorporados directamente en el modelo DEA como *inputs* o variables contextuales, lo que limita la capacidad de explicar completamente las causas de las fluctuaciones de eficiencia.
6. Análisis de las causas de la ineficiencia: Si bien el análisis de *slacks* permite identificar insumos subutilizados, el estudio no profundiza en las razones subyacentes de por qué estos *slacks* existen (ej., barreras de acceso a tecnología, falta de financiamiento, problemas organizativos específicos) más allá de algunas sugerencias generales en la discusión y recomendaciones.

Estas limitaciones no invalidan los hallazgos del estudio, pero es importante reconocerlas para contextualizar los resultados y orientar futuras investigaciones.

Conclusiones

El análisis multianual de eficiencia técnica mediante el modelo DEA BCC orientado a *output* permitió identificar patrones consistentes de desempeño entre 24 municipios productores de aguacate en México. Los resultados muestran que, si bien el sistema productivo nacional presenta una eficiencia promedio elevada ($\theta = 0.90$), existen disparidades significativas entre regiones, lo que evidencia la necesidad de políticas diferenciadas.

Michoacán se consolida como la entidad con mayor número de municipios eficientes, lo que confirma su liderazgo no solo en volumen de producción, sino también en desempeño operativo. Municipios como Tancítaro, Peribán y Nuevo Parangaricutiro operan de manera óptima, sirviendo como referencia

técnica para otras regiones. En contraste, municipios de Morelos, Nayarit y el Estado de México presentan rezagos operativos que limitan su competitividad.

El modelo DEA permitió identificar no solo niveles de eficiencia, sino también oportunidades de mejora a través del análisis de *slacks* y *benchmarking*. Esta información es estratégica para diseñar intervenciones focalizadas, como la redistribución de maquinaria, la capacitación de jornaleros o el fortalecimiento de esquemas asociativos.

Asimismo, la evolución positiva del promedio anual de eficiencia técnica entre 2020 y 2024 sugiere una mejora gradual en la organización productiva, el acceso a tecnología y la adopción de buenas prácticas agrícolas. Este comportamiento refuerza la pertinencia del modelo DEA como herramienta de diagnóstico territorial y de planificación estratégica.

Recomendaciones

A partir del análisis multianual de eficiencia técnica en 24 municipios productores de aguacate, se proponen las siguientes recomendaciones estratégicas para fortalecer el desempeño operativo del sector:

Fortalecer el extensionismo rural en municipios con eficiencia baja

Municipios como Ocuituco, Tetela del Volcán, Tepic, Xalisco y Temascaltepec presentan rezagos operativos que limitan su competitividad. Se recomienda implementar programas de extensionismo técnico enfocados en:

- Capacitación agronómica y administrativa para productores.
- Transferencia de buenas prácticas desde municipios *benchmark*.
- Diagnóstico participativo de limitantes locales (tecnológicas, organizativas, logísticas).

Promover esquemas de asociatividad y economía de escala

La dispersión parcelaria y la baja tecnificación son factores recurrentes en municipios ineficientes. Se sugiere fomentar:

- Cooperativas de producción y comercialización.
- Centros de maquinaria compartida.
- Acceso colectivo a certificaciones, financiamiento y canales de exportación.

Replicar modelos exitosos de municipios **benchmark**

Los municipios con eficiencia técnica plena ($\theta = 1.00$) deben ser utilizados como referencia operativa. Se recomienda:

- Documentar sus procesos productivos, organizativos y comerciales.
- Crear redes de intercambio técnico entre municipios.
- Incorporarlos como sedes piloto en programas estatales o federales.

Incorporar el análisis DEA en la planeación territorial

Se propone:

- Integrar el análisis DEA en los sistemas estatales de planeación agropecuaria.
- Utilizarlo como criterio para asignación de recursos públicos.
- Actualizarlo periódicamente para monitorear avances y retrocesos.

Diseñar políticas diferenciadas por nivel de eficiencia

Dado que la eficiencia técnica no es homogénea entre municipios, se recomienda:

- Aplicar políticas focalizadas según el nivel de eficiencia.
- Priorizar inversión pública en municipios con potencial de mejora.
- Incentivar la innovación en municipios eficientes para consolidar su liderazgo.

Estas recomendaciones buscan traducir el diagnóstico técnico en acciones concretas que fortalezcan la competitividad territorial del sector aguacatero mexicano. Su implementación contribuiría a cerrar brechas operativas, mejorar el uso de re-

cursos y consolidar una base estratégica para el desarrollo agrícola regional.

Referencias

- Aguirre, R. y González, J. (2019). La eficiencia técnica en la agricultura mexicana: una revisión empírica. *Revista de Estudios Regionales*, 45(2), 55–78.
- Bautista, F. y Mendoza, J. (2020). Análisis comparativo de modelos DEA y SFA en cultivos de exportación. *Revista Mexicana de Economía Agrícola*, 12(1), 33–49.
- Charnes, A., Cooper, W. W. y Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429–444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Colín Castillo, S., Aguilar Benítez, I. y Mesa Jurado, M. A. (2024). Explorando la eficiencia técnica de la producción agrícola en tres regiones de México. *Nóesis*, 33(2). <https://doi.org/10.20983/noesis.2024.2.2>
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 253–290. <https://doi.org/10.2307/2343100>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. [FAO] (2023). *Avocado market review: Global trends and trade flows*. <https://www.fao.org/markets-and-trade/avocado-review>
- Franco Sánchez, M. A. (2024). *Análisis de la competitividad de los sistemas de producción de aguacate de Michoacán y Morelos* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Chapingo]. Repositorio Chapingo. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/5dcc0088-d4b7-4efd-b43d-df1732746fee/content>
- García-Matías, J., Leos Rodríguez, J. A. y Acosta Ramos, M. (2023). Comparación económica y de fertilidad del suelo en huertas de aguacate orgánico y convencional. *Universidad Autónoma Chapingo*. https://www.researchgate.net/publication/334387609_COMPARACION_ECONOMICA_Y_DE_FERTILIDAD_DEL_SUELO_EN_HUERTAS_DE_AGUACATE_ORGANICO_Y_CONVENCIONAL_EN_EL_MUNICIPIO_DE_ARIO_DE_ROSALES_MICHOACAN
- Hernández, J., López, M. y García, R. (2023). *Eficiencia técnica en la producción de maíz en Oaxaca*. Universidad Autónoma de Oaxaca. [Referencia institucional, pendiente de publicación formal]

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [INEGI] (2023). *Censo Agropecuario 2022: Resultados definitivos*. <https://www.inegi.org.mx/programas/cagro/2022/>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. [INIFAP] (2024). *Investigaciones para eficientar el uso del agua en la agricultura*. <https://www.gob.mx/inifap/articulos/investigaciones-para-eficientar-el-uso-del-agua-en-la-agricultura>
- López-Moreno, J., Martínez, A. y Pérez, C. (2021). Productividad y cambio tecnológico en la agroindustria de la caña de azúcar en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(6), 1005–1020. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2692>
- Pontificia Universidad Católica de Chile. (2025). Eficiencia técnica en agricultores de la zona central de Chile: Un análisis DEA-VRS y StoNED. *Revista Chilena de Economía Agraria*, 15(1), 55–78.
- Ramírez, L., Gómez, J. y Torres, M. (2023). *Eficiencia productiva en el cultivo de mango en Nayarit*. Secretaría de Agricultura Nayarit. <https://www.gob.mx/agricultura/nayarit/articulos/mango-y-su-produccion-en-nayarit?idiom=es>
- Ruiz, A., González, M. y Estrada, P. (2023). *Benchmarking de eficiencia agrícola en municipios del Estado de México*. Secretaría del Campo, Gobierno del Estado de México. https://secampo.edomex.gob.mx/sites/secampo.edomex.gob.mx/files/files/Publicaciones/matriz%20de%20indicadores/1Desarrollo_agri_2023.pdf
- Sánchez, E. y Torres, L. (2021). El modelo DEA en la evaluación de eficiencia técnica: fundamentos y aplicaciones. *Revista Latinoamericana de Economía Aplicada*, 18(3), 77–94.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [SIAP] (2024). *Producción agrícola nacional por cultivo: Aguacate 2019–2023*. <https://www.gob.mx/siap/documentos/produccion-agricola>
- Torres, M., Rodríguez, A. y Salazar, E. (2022). *Situación de la agricultura protegida en México*. AMHPAC. https://amhpac.org/negociosmercados/socios/v2/wp-content/uploads/2023/09/AMHPAC-te-informa-2022_V3.pdf
- Trucios Caciano, R. (2022). *Eficiencia hídrica en cultivos comerciales en Sonora*. INIFAP. <https://www.gob.mx/inifap/articulos/investigaciones-para-eficientar-el-uso-del-agua-en-la-agricultura>
- Universidad Antonio Ruiz de Montoya. (2023). Eficiencia técnica y ecológica en sistemas agrícolas familiares vs. no familiares en Perú. *Revista Peruana de Desarrollo Rural*, 8(2), 41–63.

- Universidad Autónoma de Bucaramanga. (2023). Determinantes de la eficiencia de la agricultura del nororiente colombiano en 2019. *Revista Colombiana de Economía Agropecuaria*, 9(3), 70–92.
- Vega, R., Martínez, D. y Paredes, F. (2024). *Eficiencia técnica en cultivos de exportación en el Bajío*. InfoAgro México. <https://mexico.infoagro.com/hortalizas-de-exportacion-el-exito-del-bajio>

Anexos
Anexo 1. Municipios incluidos en el estudio

Listado de los 24 municipios evaluados mediante el modelo DEA BCC orientado a *output*, agrupados por entidad federativa:

Estado	Municipio (DMU)
Jalisco	Concepción de Buenos Aires
	San Gabriel
	Tuxpan
	Zapotiltic
	Zapotlán el Grande
México	Coatepec Harinas
	Donato Guerra
	Temascaltepec
Michoacán	Ario
	Los Reyes
	Nuevo Parangaricutiro
	Peribán
	Salvador Escalante
	Tacámbaro
	Tancítaro
	Tingüindin
	Turicato
	Uruapan
	Zacapu
	Ziracuaretiro
Morelos	Ocuituco
	Tetela del Volcán
Nayarit	Tepic
	Xalisco

Anexo 2. Variables utilizadas en el modelo DEA

Variable	Tipo	Descripción
Producción total (toneladas)	Output	Volumen anual de aguacate producido por municipio
Superficie cosechada (ha)	Input	Área de los cultivos
UPAA (Unidades de Producción Agropecuaria Aguacateras)	Input	Número de unidades productivas registradas
Jornaleros	Input	Número total de trabajadores agrícolas contratados
Maquinaria	Input	Número de equipos agrícolas registrados (tractores, aspersoras, etc.)

Anexo 3. Parámetros del modelo DEA

- Modelo: BCC (Variable Returns to Scale - VRS)
- Orientación: *Output*
- Software utilizado: MaxDEA Ultra 8.0
- Año de referencia: 2024
- Unidades de decisión (DMUs): 24 municipios
- Criterios de eficiencia: $\theta \geq 1$ (eficiencia plena), $\theta < 1$ (ineficiencia relativa)
- *Slacks* analizados: Jornaleros, UPAA, Maquinaria