



INCEPTUM

Revista de Investigación en Ciencias de la Administración
Vol. XX No. 39 Julio – Diciembre 2025

Eficiencia en la producción de granos básico de México y las economías del APEC: Un Análisis Envolvente de Datos

Efficiency in basic grain production of Mexico and APEC Economies: An Enveloping Analysis of Data

DOI: 10.33110/inceptum.v20i39.508

(Recibido: 20/10/2025; Aceptado: 27/11/2025)

Ignacio Gutiérrez Reyes¹

Odette Virginia Delfín Ortega^{2*}

Resumen

El objetivo de este artículo es analizar la eficiencia en la producción de arroz, frijol, maíz y trigo de México dentro de la región APEC con la finalidad de hacer recomendaciones de política pública para incidir en el sector. Se realizó un modelo DEA con orientación *output* considerando RVE con datos de 2022, los *inputs* utilizados fueron el promedio de horas semanales trabajadas en el sector agrícola, la cantidad promedio de nitrógeno por hectárea y la superficie destinada a cada cultivo, el *output* considerado fue el rendimiento promedio por hectárea. Los resultados muestran que México es eficiente en el cultivo del arroz y trigo, y es ineficiente en la producción de maíz y frijol. Para ser eficiente en el cultivo de maíz México debería tener un nivel de rendimientos de 7.77 t/ha, en el caso de frijol debería tener un rendimiento promedio de 2.14 t/ha.

Palabras Clave: Eficiencia, DEA, agricultura.

Abstract

The objective of this article is to analyze the efficiency of rice, bean, corn, and wheat production in Mexico within the APEC region in order to make public policy recommendations to influence the sector. An output-oriented DEA model was developed considering VRE with

1 Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, Michoacán, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6756-3949>. Correo electrónico: 9701640g@umich.mx

2 Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, Michoacán, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0990-6768>. Correo electrónico: odette.delfin@umich.mx

*Autor de Correspondencia: Odette Virginia Delfín Ortega. Correo electrónico: odette.delfin@umich.mx

data from 2022. The inputs used were the average weekly hours worked in the agricultural sector, the average amount of nitrogen per hectare, and the area devoted to each crop. The output considered was the average yield per hectare. The results show that Mexico is efficient in the cultivation of rice and wheat, but inefficient in the production of corn and beans. To be efficient in corn cultivation, Mexico should have a yield level of 7.77 tons/ha, and in the case of beans, it should have an average yield of 2.14 tons/ha.

Keywords: Efficiency, DEA, APEC, agriculture.

Código JEL: P1, C14.

Introducción.

De acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2019), el arroz, trigo, frijol y maíz son considerados alimentos indispensables en la dieta diaria por su contenido y aportación de nutrientes, actualmente a nivel mundial estos cuatro granos básicos son considerados indispensables para garantizar la seguridad alimentaria y como insumos para el desarrollo industrial de los países. México tuvo su auge en cuanto a la producción de granos básicos en las décadas de los sesenta y principios de los setenta. El impulso de la agricultura ayudó a la urbanización del país y su industrialización, el campo proveía materia prima y alimentos necesarios y suficientes para cubrir la demanda nacional. A partir de la década de los noventa, el campo comienza a reestructurarse y se impulsan cultivos de mayor valor económico. No obstante, la demanda de granos básicos crece, ya que la alimentación de la población mexicana se basa en el frijol, arroz, maíz y, en menor medida, el trigo.

Según datos de la SADER (2024), para el 2022 estos cuatro cultivos cubrieron una superficie de nueve millones de hectáreas. Además, en el sector agrícola se emplearon 26.9 millones de trabajadores (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI, 2023). Sin embargo, estos datos por sí solos no ayudan a determinar si los recursos destinados a la producción agrícola son suficientes o eficientes. Para conocer qué tan eficiente es el país en cuanto al uso de recursos es necesario realizar un análisis comparativo que sirva como guía para adecuar políticas públicas destinadas al sector.

En este sentido, se incluye a las economías que integran la región de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC), ya que agrupan a países con distintos niveles de desarrollo agrícola, tecnológico y productivo, permitiendo establecer comparaciones relevantes sobre el aprovechamiento de los recursos agrícolas. La APEC representa una de las regiones económicas más dinámicas del mundo, concentrando una parte significativa del comercio global de alimentos y materias primas, además de reunir tanto a grandes productores de granos —como Estados Unidos, China, Australia o Canadá— como a países con estructuras productivas más similares a la mexicana. Analizar la posición de México en este contexto internacional permite identificar brechas de eficiencia, oportunidades de mejora y estrategias de política agrícola que contribuyan a fortalecer la autosuficiencia alimentaria y la competitividad del sector rural.

El artículo tiene como objetivo analizar la eficiencia en la producción de cuatro cultivos básicos —arroz, frijol, maíz y trigo— dentro de la región APEC. Se realiza un Análisis Envolvente de Datos (DEA) diseñando un modelo bajo supuestos de Rendimientos Variables a Escala (RVE) con orientación *output*. El *output* considerado es el rendimiento

promedio por hectárea, mientras que los inputs utilizados son la superficie destinada a cada cultivo, las horas promedio semanales trabajadas en el sector agropecuario y el promedio de nitrógeno utilizado por hectárea.

El artículo está dividido en seis apartados. En el primero se presenta la introducción sobre la relevancia del tema y el objetivo del estudio; en el segundo se aborda la política agrícola en México en las últimas décadas, la evolución de la superficie destinada a la producción de estos granos y los volúmenes de cosecha, así como un comparativo de la producción y consumo de los cultivos dentro de la región APEC; en el tercer apartado se abordan aspectos teóricos sobre la medición de eficiencia retomando a autores como Farrell (1957) para explicar la metodología DEA y se revisa literatura aplicada a la agricultura; en el cuarto se define el modelo utilizado para medir la eficiencia de México en el contexto APEC, explicando el origen de los datos; en el quinto apartado se presentan los resultados del modelo y su interpretación; y en el sexto se elaboran las conclusiones y recomendaciones derivadas del análisis.

1. Antecedentes.

1.2. La producción de granos básicos en México.

La producción de granos básicos en México ha dependido en gran medida de la política agrícola y la cantidad de recursos fiscales destinados al sector, ya sea en forma de inversión en infraestructura, garantía de crédito, subsidios o transferencias (Appendini, 2001; Yúnez, 2010). Hasta antes de 1990 el programa precios de garantía impulsaban la producción de granos básicos para cubrir la dieta mexicana de productos como el maíz, frijol, arroz y trigo. A través de la Compañía Nacional de Subsistencia Popular CONASUPO, el gobierno garantizaba un precio a los productores por sus cosechas, lo cual ofrecía certeza de un ingreso que les permitiría reproducir el ciclo productivo, a su vez, el gobierno ofrecía al consumidor precios inferiores a los consumidores para mantener bajos los precios de los alimentos.

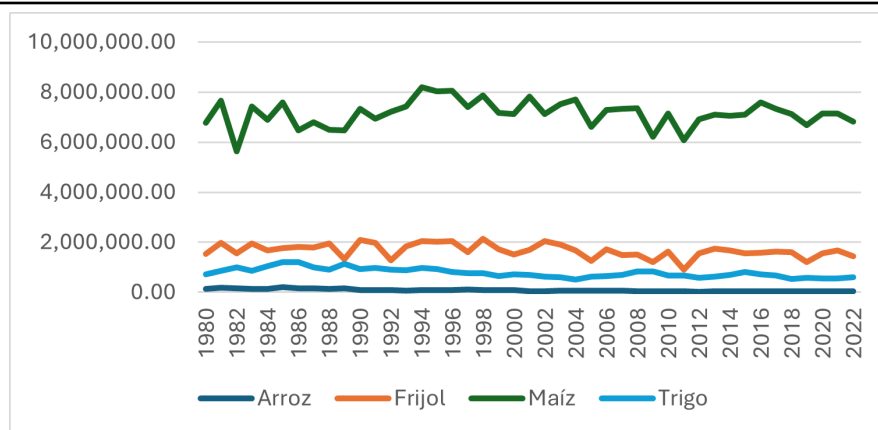
Esta política de abasto de alimentos era resultado de una política agraria y no tanto de una política agrícola, el abasto se basaba en el hecho de que cada vez se iban incorporando más recursos productivos al sector, el reparto agrario permitía que se utilizaran más tierras para producir granos por una cantidad creciente de productores, la mayoría de subsistencia y escala pequeña (Fox y Haight, 2010), una política que atendía aspectos sociales y no de eficiencia productiva (Appendini, 2001).

A partir de los noventa, la política agrícola cambia, se llega al límite de la frontera agrícola y se detiene el reparto de tierras, el Programa de Certificación de Derechos y Titulación de Solares Urbanos PROCEDE y la reforma al artículo 27 de la constitución ofrece la posibilidad de crear un mercado de tierras para un mejor uso de este recurso, al parar la dotación de tierras se detiene también la cantidad de personas dedicada a la producción de granos básicos (Appendini, 2001, Yúnez, 2010). Además, con la eliminación de CONASUPO y los precios de garantía, y el establecimiento del Programa de Apoyos Directos al Campo PROCAMPO, los productores no están obligados a producir necesariamente un tipo de cultivo, puede optar entre una variedad de cultivos esperando que escogieran el cultivo para el cual fueran más eficientes (López, 2019).

Los datos disponibles de la SADER permiten observar el comportamiento de la superficie destinada a los cultivos de maíz, trigo, arroz y frijol desde 1980, la tendencia

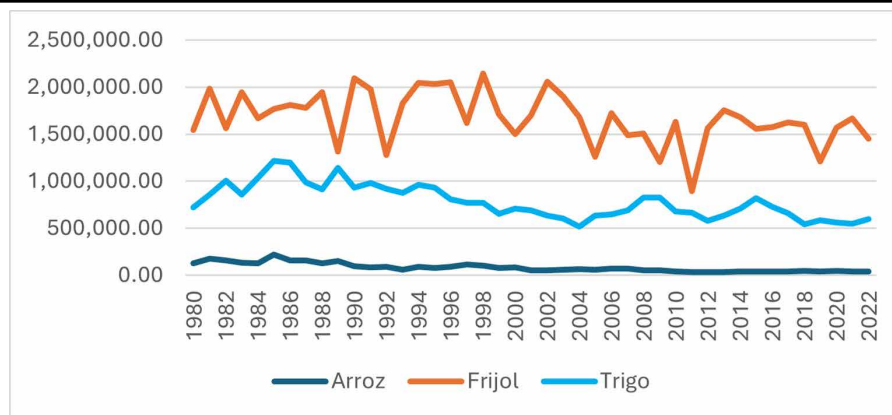
muestra un descendiendo generalizado (véase gráfica 1). El maíz es el cultivo que más superficie abarca, su punto máximo fue en 1994 con cerca de 8.2 millones de hectáreas las cuales disminuyeron hasta 6 millones en 2011 recuperándose solo un poco en 2022 (véase gráfica 1). En la gráfica 2 se muestran los mismos cultivos a excepción del maíz, en el caso de frijol, la tendencia no es tan pronunciada como el maíz, sin embargo, para 1982 se destinaban 1.5 millones de hectáreas y para el 2022 1.4 millones, lo cual indica una estabilidad. El trigo representó para 1980 860 mil hectáreas y para 2022 595 mil, una disminución de cerca del 30%. El caso de arroz, cultivo con menos superficie, en 1980 se destinaban 127 mil hectáreas disminuyendo a solo 37 mil para el 2022, una disminución del 71%.

Gráfica 1. Superficie en México destinada al cultivo de maíz, trigo, arroz y frijol de 1980 a 2022 (hectáreas).



Fuente: Elaboración propia con datos de SADER (2024).

Gráfica 2. Superficie en México destinada al cultivo de trigo, arroz y frijol de 1980 a 2022 (hectáreas).

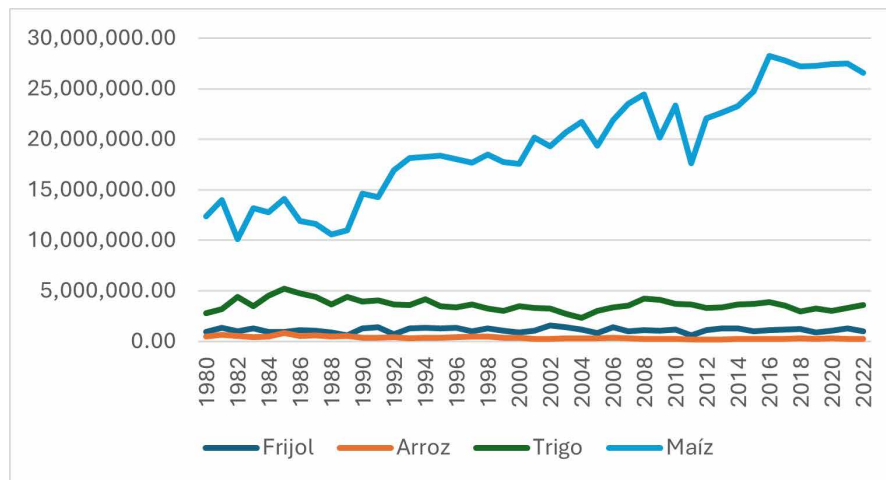


Fuente: Elaboración propia con datos de SADER (2024).

En el caso de la producción, se observa que en el periodo de 1980 a 2022 solo el maíz ha tenido un incremento sostenido pasando de 12 millones a 26 millones de toneladas anuales (véase gráfica 3). En el caso del trigo se tuvo una producción máxima en 1982 de 5.2 millones de toneladas la cual ha ido descendiendo hasta llegar a 3.6 millones para 2022. En el

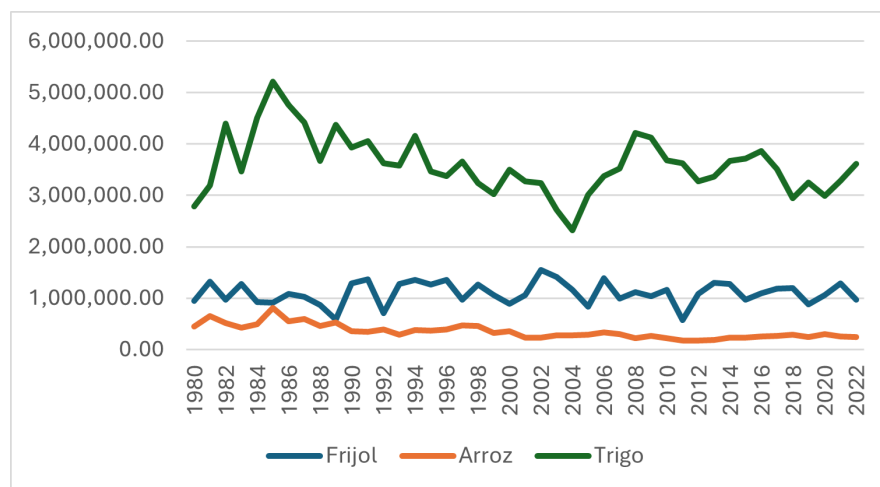
caso del frijol, la producción pasó de 1.3 millones de toneladas para 1980 a 900 mil toneladas para 2022. Caso similar el arroz que pasó de 445 mil toneladas en 1980 a 246 mil toneladas en 2022 (véase gráfica 4).

Gráfica 3. Producción en México de maíz, trigo, arroz y frijol de 1980 a 2022 (toneladas).



Fuente: Elaboración propia con datos de SADER (2024).

Gráfica 4. Producción en México de trigo, arroz y frijol de 1980 a 2022 (toneladas).



Fuente: Elaboración propia con datos de SADER (2024).

La superficie agrícola es el factor determinante en la producción de granos básicos, la tendencia de la disminución de la superficie destinada a estos cultivos debe de ir acompañada con un mejor aprovechamiento de los insumos aplicados al proceso productivo. Actualmente la política agrícola en México intenta estimular la producción de granos básicos con los programas Precios de Garantía, Programa Producción para el Bienestar y Fertilizantes (SADER, 2024) sin poner especial atención en el uso eficiente de los insumos. La importancia de un manejo eficiente de los recursos en el cultivo de granos básicos en México radica en elevar la producción con los insumos disponibles para cubrir la demanda nacional ya que

desde el 2010 las importaciones han tenido una alta participación con un promedio de 81% en el arroz, 74% en el trigo, 35% en el maíz y 11% en el frijol (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, 2025).

De acuerdo con el principio de eficiencia de Farrell (1957), la eficiencia no es algo que se pueda conocer *a priori*, si no que esta siempre es relativa. Una forma de saber si una política ayuda a la eficiencia en el proceso productivo es a través de una comparación entre países o del mismo país en diferentes periodos. Para este trabajo se analiza la eficiencia en la producción agrícola de México en la región APEC, con la finalidad de conocer si, dada una realidad es posible que México pueda producir más granos básicos con la misma cantidad de insumos.

1.2. Producción de México en APEC.

APEC es una región económica que abarca 18 países, dentro de los cuales está Australia, Brunei Darussalam, Canadá, Chile, China, Estados Unidos de América, Rusia, Filipinas, Indonesia, Japón, Malasia, México, Nueva Zelandia, Papua Nueva Guinea, Perú, Singapur, Tailandia y Vietnam. La región representa el 36% de la población mundial, en temas agrícola representa el 45% de la superficie mundial destinada al maíz, el 42% al trigo, 39% al arroz y el 9% al frijol. Además, la región produce el 63% de todo el maíz en el mundo, el 45% del trigo, el 49% de arroz y el 20% de frijol (FAO, 2025).

1.2.1. Consumo y producción.

Con datos de FAO (2025), se observa que México es de los países que menos consume arroz en la región, para 2022 el disponible para consumo *per cápita* por años era únicamente de 8.7 kg, mientras que países como Filipinas, Indonesia, Tailandia y Vietnam tienen una disponibilidad de 194, 185, 178 y 226 kilos *per cápita* respectivamente. En el mismo año México importó cerca del 80% del arroz que consumió ya que solo produjo 247 mil toneladas, caso que se ha repetido en los últimos años.

En el caso de frijol, México es el mayor consumidor *per cápita*, con 7.5 kilos por persona al año, produce el 18% del frijol de la región. Así mismo, importa el 5% del total de frijol que se importa en la región.

El tema del maíz es similar al de frijol, México es el país que más grano disponible para consumo humano tiene con 121.4 kilos *per cápita* anual para 2022. En el mismo año, del total de grano que se destina para alimento directo en la región, México representó el 40%, además, las importaciones de México fueron del orden del 19% del total de la región, no obstante, la producción de maíz mexicano solo representó el 4% el total de la región.

En el caso del trigo, para 2022, México tenía disponible 37.4 kilos anuales *per cápita*. Un volumen solo superior a Indonesia, Papua Nueva Guinea, Tailandia y Vietnam. La contribución de la producción mexicana no supera el 1% de la región, y el país consumió solo el 2% del total que se consume en la región.

1.2.2. Rendimiento y tierra destinada.

La FAO (2025) muestra que en lo referente al arroz, el área cosechada en México representó solo el 0.05% del total de la región, con un rendimiento promedio de 6.5 t/ha, un rendimiento superior a la media, cerca de las 7 t/ha de los productores chinos.

En el caso de maíz, el área cosechada de este grano en México representó el 7.4% de toda el área destinada en la región, México fue el tercer país que más destinó superficie cosechada, solo por detrás de China y Estados Unidos que aportaron el 47% y 34.5% respectivamente. El promedio de rendimiento en México para 2022 fue de 3.7 t/ha el cuarto peor rendimiento de la región, solamente por arriba de Filipinas, Perú y Malasia.

En cuanto al área destinada al trigo, México aporta tan solo el 0.6% al total de superficie. Sin embargo, tiene el segundo mejor rendimiento de la región con 6 t/ha solamente superado por Nueva Zelanda que tiene un rendimiento de 9.3 t/ha.

En el caso del frijol, México destina el 44.4% del total de superficie cosechada con este grano, es el país que más superficie destina, en seguida se encuentra China y Estados Unidos con el 22.6% y el 12% respectivamente. Además, México aporta el 23.3% del total de la producción de este grano solo por detrás de China y Estados Unidos que aportan el 31.5% y 28% respectivamente. A pesar de lo anterior, México tiene el peor rendimiento de la región con 0.6 t/ha superado por todos los países de APEC con promedio superiores de 1.7 t/ha de China, 2.3 t/ha de Estados Unidos, 1.4 t/ha de Rusia y 1.8 t/ha de Australia.

2. Revisión de la literatura.

2.1. Marco teórico-metodológico.

2.1.1. Análisis de eficiencia.

Una noción general de productividad es qué tanto se produce con lo que se tiene. Mawson et al. (2003), consideran que la productividad es la capacidad de una economía para convertir los insumos en productos. Para Jiménez et al. (2001) la productividad es una estrategia de mejora que se basa en el uso eficiente de los recursos.

La productividad se puede analizar al menos de dos maneras, parcial y total. La primera tiene que ver con el provecho que se obtiene de un solo recurso como la productividad por el trabajo (Giraleas, 2013), productividad de la tierra, productividad de la inversión, etc. Sin embargo, el análisis de la productividad parcial esconde la influencia que tienen todos los factores de la producción en cada factor involucrado (Hernández, 2007), es por eso que se utiliza la productividad total de los factores PTF para analizar el crecimiento de la producción real que no se explica por el crecimiento de los insumos utilizados (Mawson et al., 2003). Al hablar de análisis de productividad de los factores se realiza un análisis de eficiencia, es decir, del uso de *inputs* para obtener *outputs*.

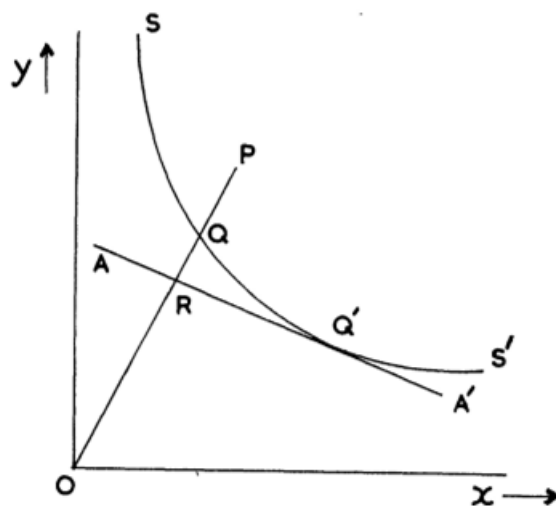
Koopmans (1951), Debreu (1951) y Farrell (1957) son reconocidos como los pioneros en el estudio y medición de la eficiencia. Koopmans introdujo el concepto de eficiencia técnica, explicándolo como la relación entre las variaciones de los productos (*outputs*) y los factores de producción (*inputs*), de modo que un cambio en los primeros implica ajustes en los segundos o una reducción de los desperdicios. Para Debreu, la eficiencia se define por la existencia de recursos limitados y restricciones físicas inherentes al proceso productivo, que condicionan la capacidad de generar bienes o servicios.

Farrell (1957) considera que el análisis de eficiencia se puede medir a través de una función de producción de eficiencia, que se obtiene solo después de observar el comportamiento de un conjunto de empresas. Gráficamente una frontera de eficiencia se puede presentar como una isocuanta, la cual representa combinaciones de *inputs* que ofrecen

la misma cantidad de *outputs*, las empresas que se encuentren en la isocuanta son empresas eficientes, mientras que aquellas que no lo estén son ineficientes, de esta manera la eficiencia es la distancia entre punto donde se encuentra la empresa ineficiente y su proyección de una empresa sobre la isocuanta. Es decir, la eficiencia es el resultado de la comparación con lo mejor que se ha logrado realmente. Siguiendo a Farrell, una empresa es eficiente si opera dentro de la eficiencia técnica ET y la eficiencia asignativa EA, la primera establece una función de producción y la segunda una frontera de costos (Dios, 2004). Se obtiene por lo tanto una eficiencia global (económica) al obtener la eficiencia técnica y la eficiencia asignativa.

La gráfica 5 muestra que una empresa que se encuentra en el punto P, es ineficiente en términos técnicos porque existen empresas que utilizando una menor cantidad de *inputs* x producen la misma cantidad de *outputs* y (las que forman la isocuanta). P sería eficiente técnicamente si se ubica en un punto de la curva SS' y solo sería eficiente en términos de asignación si también se ubica a su vez en la curva de costos AA' . Es decir el punto de ET de una empresa ubicada en P es el punto Q, mientras que la EA se ubica en el punto R de la curva AA' , el cual es una proyección del punto Q' .

Gráfica 5. Modelo de frontera de Farrell.



Fuente: Farrell (1957).

Los estudios de eficiencia ayudan a obtener el nivel de eficiencia de un grupo de unidades de observación creando un *ranking* de estos y ofreciendo información sobre los factores que inciden en su ineficiencia para encontrar estrategias de corrección (Dios, 2004). La eficiencia se puede definir como la capacidad de lograr los máximos resultados con el mínimo esfuerzo o costo.

La ET puede clasificarse en eficiencia técnica pura ETP y eficiencia técnica a escala EE. La ETP muestra en qué medida la unidad analizada extrae el máximo rendimiento de los recursos físicos, mientras que la EE mide el tipo de tecnología que utiliza la unidad analizada, ya sea con Rendimientos Constantes a Escala RCE o Rendimientos Variables a Escala RVE,

variables crecientes o variables decrecientes, la EE muestra si la unidad evaluada ha alcanzado el punto máximo óptimo de escala (Navarro y Hernández, 2007).

2.1.2. DEA.

DEA es un método de frontera no paramétrico que mide la eficiencia relativa de un grupo de observaciones con el objetivo de maximizar la eficiencia de cada unidad de observación otorgando a cada una valores que ayuden a maximizar su eficiencia a partir de los datos disponibles del conjunto de entidades analizadas conocidas como unidad de toma de decisiones (DMU) y cada una de ellas obtiene un valor de los inputs y outputs que maximizan el valor de eficiencia de su producción (Cooper, Seiford y Tone, 2006). DEA consta de dos pasos que se realizan de forma simultánea, se construye la frontera eficiente y se estima la expansión de *outputs* o la reducción de *inputs*.

El trabajo de Farrell (1957) fue ampliado posteriormente por Charnes et al. (1978), quienes desarrollaron el modelo bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala (CRS), donde una variación en los insumos genera un cambio proporcional en los productos. Este enfoque requiere optimizar tantas veces como unidades de decisión (DMU, por sus siglas en inglés) se analicen. El modelo CRS se representa de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \theta^* &= \min \theta \lambda \theta \\ \text{St. } Y\lambda &\geq Y_i \\ X\lambda &\leq \theta X_i \\ \lambda &\geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Donde θ indica la distancia en *inputs* a la envolvente de datos, es decir la medida de eficiencia. X es la matriz de *inputs*, Y es la matriz de *outputs*, λ es el vector de pesos o intensidades, X_i , Y_i representan los valores de *inputs* y *outputs* respectivamente.

El modelo DEA-BCC, desarrollado por Banker, Charnes y Cooper (1984), surge como una extensión del modelo DEA-CCR. A diferencia de este último, el modelo BCC elimina el supuesto de rendimientos constantes a escala, permitiendo que la tecnología productiva presente rendimientos variables a escala en distintos niveles de producción (Banker, Charnes y Cooper, 1984).

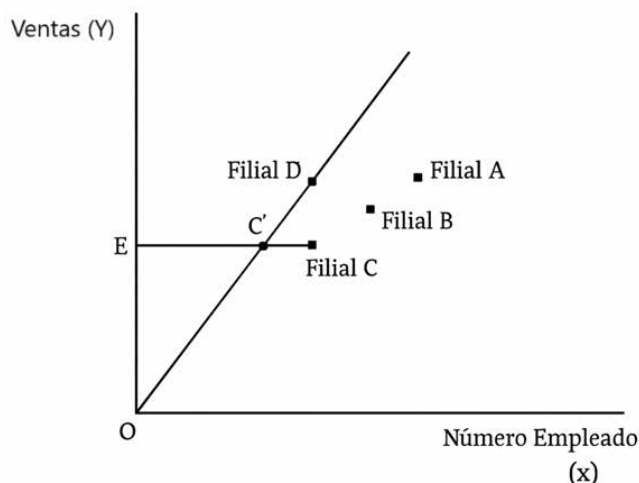
Esta propuesta introduce una modificación al programa lineal original al incorporar la restricción $N1'\lambda = 1$, lo que permite capturar la variabilidad en la escala de operaciones. De esta forma, el modelo de rendimientos variables a escala (VRS) con orientación hacia los insumos (input-oriented) se expresa del siguiente modo:

$$\begin{aligned} \theta^* &= \min \theta \lambda \theta \\ \text{Sujeto a } Y\lambda &\geq Y_i \\ X\lambda &\leq \theta X_i \\ N1'\lambda &= 1 \\ \lambda, s^+, s^- &\geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

La unidad evaluada será calificada como eficiente, según la definición de Pareto-Koopmans, si y solo si en la solución óptima $\theta^* = 1$ y las variables de holguras son todas nulas, es decir $s^{+*} = 0$ y $s^{-*} = 0$

La gráfica 6 muestra un modelo básico DEA, donde una cantidad de *inputs* producen una cantidad de *outputs*. Considerando RCE, la línea que parte del origen toca a las unidades de observación que logran producir una mayor cantidad de *outputs* con una menor cantidad de *inputs*, en este caso es la filial D, lo que construye la frontera de eficiencia (O-D), mientras que todas las filiales restantes son ineficientes (Colls y Blasco, 2006).

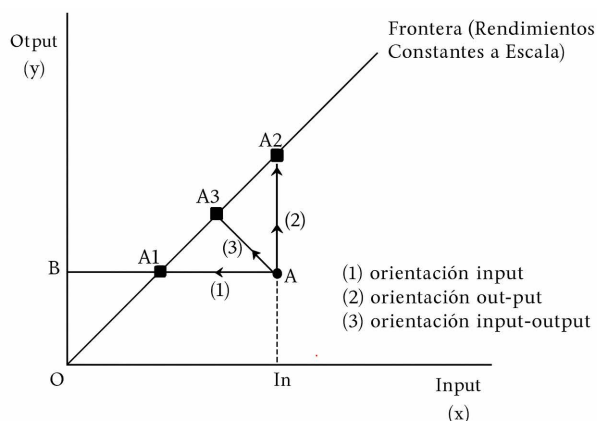
Gráfica 6. DEA modelo básico 1 *output* 1 *input*.



Fuente: Colls y Blasco (2006).

Los modelos DEA pueden tener orientación *input* u *output*. Tiene orientación *input* cuando el análisis pretende reducir el número de *inputs* manteniendo el nivel de *outputs*, tiene orientación *outputs* cuando manteniendo el nivel de *inputs* se trata de maximizar el nivel de *outputs*. La gráfica 7 analiza la empresa A considerando RCE, la cual no está dentro de la frontera eficiente, si se realiza un modelo DEA *input* orientado, la empresa debería situarse en el punto A1 para ser eficiente, es decir, mantener ese nivel de output (B) minimizando el nivel de *inputs* hasta A1. La misma gráfica muestra que con un análisis DEA *output* orientado, la empresa A debería mantener su nivel de *inputs* (C) aumentando sus niveles de *outputs* hasta el punto A2.

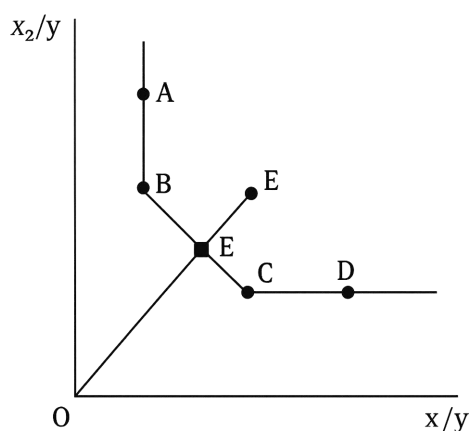
Gráfica 7. DEA orientación.



Fuente: Colls y Blasco (2006).

Para crear la frontera de eficiencia, basta con que una unidad de observación utilice una menor cantidad de *inputs* para producir un *output* o con la misma cantidad de *inputs* pueda producir la mayor cantidad de *outputs*, sin embargo, el análisis DEA asigna pesos diferentes a cada *input* y *outputs* de las diferentes unidades de observación, lo que indica que la frontera puede estar determinada por dos unidades de observación que aún pueden reducir sus niveles de *inputs* o aumentar sus niveles de *outputs* de acuerdo con la orientación del modelo. La gráfica 8 muestra que las unidades A y B forman la frontera de eficiencia, sin embargo, existe una holgura ya que A podría reducirse hasta B manteniéndose en la frontera de eficiencia. En la misma figura la frontera está determinada por C y D, lo cual genera una holgura ya que D podría reducirse hasta C, y mantenerse en el mismo nivel de eficiencia.

Gráfica 8. DEA *Benchmarking* y holguras.



Fuente: Colls y Blasco (2006).

El *benchmarking* en DEA indica que para cada unidad ineficiente existe una proyección que le permite ser eficiente, es decir, crear un modelo meta para que cada unidad de observación logre elevar sus niveles de eficiencia (Zhu, 2009). En la gráfica 6 la unidad de observación ubicada en el punto E, proyecta su estado de eficiencia en el punto E', es decir indica un modelo de cómo debe manejar sus *inputs* y *outputs* para estar operando dentro de la frontera de eficiencia.

2.1.3. Rendimientos variables a escala RVE.

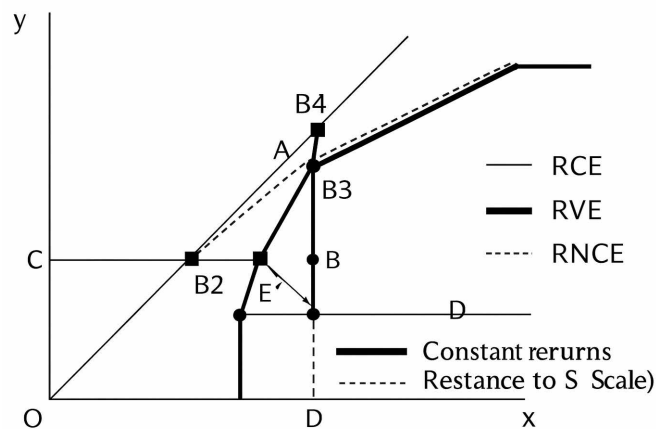
El análisis del modelo DEA previamente señalado muestran el funcionamiento de DEA utilizando RCE, es decir, la línea recta que parte del origen y que se proyecta a cada unidad de observación, esta línea recta establece que los rendimientos son constantes, es decir, si incrementan los *inputs* los *outputs* incrementarán en la misma proporción y viceversa. Sin embargo los RVE relajan el supuesto de RCE, que resulta restrictivo e irreal, RVE permite que los rendimientos a escala caractericen una tecnología variable, ya sea creciente o decreciente. En los modelos con RCE se obtiene una medida de eficiencia técnica global puesto que simultáneamente se evalúan la ET y la EE, en los modelos de RVE se obtienen medidas de eficiencia técnica pura ETP y EE. En RVE se considera la ET como eficiencia técnica general ETG, la cual se descompone en ETP y EE.

Los rendimientos a escala indican los incrementos en la producción que son resultado de los incrementos en todos los factores de la producción en el mismo porcentaje y que pueden ser: i) constantes cuando aumentos en los *inputs* generan aumentos en los *outputs* en la misma proporción; ii) crecientes cuando aumentos en los *inputs* producen aumentos más que proporcionales en los *outputs*; y iii) decrecientes cuando aumentos en los *inputs* generan aumentos menos que proporcionales de *outputs*.

En el caso de un *input* y un *output*, la figura 7 muestra dos unidades evaluadas (A y B) y las tres fronteras comúnmente estimadas en DEA: RCE y RVE crecientes, decrecientes o no crecientes RNCE. Considerando la unidad ineficiente B. Por regla la ET (con orientación *inputs* u *output*) considerando RVE es no menor que la ET estimada con RCE.

Considerando una orientación *output*, la gráfica 9 muestra que la eficiencia de B considerando RCE es igual a la distancia DB/DB4, es decir la distancia B4B, bajo RNCE y RVE la eficiencia es DB/DB3 lo cual es la distancia B3B (gráfica 7). La diferencia entre las medidas RCE y RVE (o RNCE), es decir B4B3 es la EE que se puede interpretar como la parte de la ineficiencia presente en la ETG que obedece a la escala de producción de la unidad evaluada, la cual resulta de descontar a la ETG la ETP.

Gráfica 9. DEA con RCE, RVE y RNCE.



Fuente: Coll y Blasco (2006).

Por lo tanto, considerando RVE:

$$\text{ETG}=\text{ETP}*\text{EE} \quad (3)$$

Es decir

$$\frac{DB}{DB4} = \frac{DB}{DB3} * \frac{DB3}{DB4} \quad (4)$$

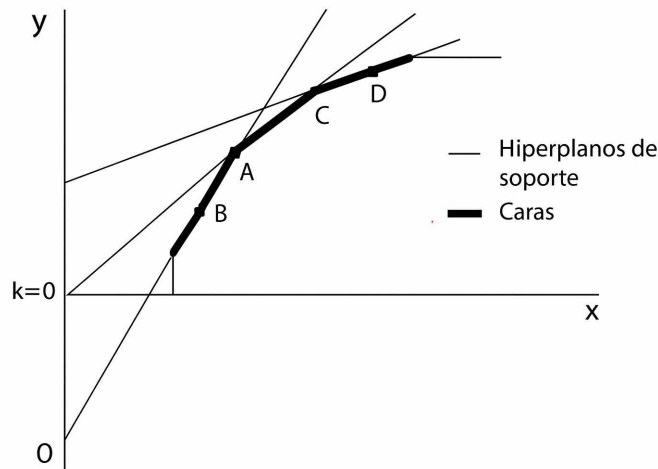
Si la $EE=1$ y además $ETG=ETP$ indica que la unidad evaluada no presenta ineficiencia de escala, es decir, opera con RCE. Si $EE<1$, indica que ETG no es igual a la ETP , por lo tanto opera con RVE, para saber si opera bajo rendimientos crecientes o decrecientes se compara la frontera con RVE y RVNE.

Si la eficiencia técnica bajo RVE es mayor a la eficiencia con RCE, no tiene ineficiencia a escala, es decir opera con RCE.

Los modelos con RVE agregan el intercepto K, que es la proyección de cada segmento que define la frontera (al contrario de RCE donde todas las unidades observadas se comparan con una misma proyección que parte desde el origen). El objetivo de DEA RVE es encontrar un hiperplano que, permaneciendo sobre o por encima de todas las unidades minimice la distancia horizontal desde el hiperplano a la unidad evaluada (gráfica 10) . Una superficie envolvente de RVE consta de partes de hiperplano de soporte en R^{m+s} que forman las caras del casco convexo de los puntos (Y_j, X_j) para $j=1,2,\dots,n$. la ecuación de un hiperplano en R^{m+s} viene dada por:

$$\sum_{r=1}^s \mu_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m \delta_i X_{ij} + k_0 = 0^{l_0} \quad (5)$$

Gráfica 10. DEA considerando RVE.



Fuente: Coll y Blasco (2006).

Mientras que considerando RCE el punto de proyección hacia la eficiencia de *inputs* y *outputs* de la unidad evaluada es una combinación lineal de unidades eficientes que permanecen sobre una cara envolvente eficiente, con RVE dicho punto de proyección es una combinación lineal convexa. Esta restricción de convexidad asegura que la unidad combinada es de tamaño similar a la unidad evaluada y no es una extrapolación de otra unidad combinada que opera a escala de diferente tamaño. La medida de eficiencia obtenida para la unidad evaluada es su ETP.

El modelo que se propone para calcular la eficiencia en este estudio es el modelo envolvente con orientación *output*:

Considerando RCE:

$$\text{Max}_{\varphi, \lambda, s^+, s^-} \quad Z_0 = \varphi + \varepsilon (Is^+ + Is^-) \quad (6)$$

Sujeto a:

$$\varphi y_0 - \lambda Y + s^+ = 0$$

$$\lambda X + s^- = x_0$$

$$\lambda, s^+, s^- \geq 0$$

Donde la eficiencia de la unidad evaluada. Is^+ es el vector de holguras output. $Is^+ = \sum_{r=1}^s s_r^+$. Is^- es el vector de holguras input. $Is^- = \sum_{i=1}^m s_i^-$. El número de holguras Is^+ está determinado por la cantidad de *outputs* utilizados. El número de holguras Is^- está determinado por la cantidad de *inputs* utilizados. El total de restricciones es igual la suma de *inputs* más *outputs*. ε es una condición de positividad, es decir, que la suma de holguras siempre sea un número positivo o cero y_0 . es el vector de *outputs* de la unidad que está siendo evaluada. x_0 es el vector de *inputs* de la unidad que está siendo evaluada. X es la matriz de salida de *inputs* del orden $m \times n$ donde m es un *inputs* y n es una unidad de observación. Y es la matriz de entradas del orden $s \times n$ donde s es el número es un *output* y n es una unidad de observación. λ es el vector de pesos e intensidades. Así λX es el vector de pesos de la matriz de *inputs* y λY es el vector de pesos de la matriz de *outputs*. El objetivo del modelo orientado a *outputs* es maximizar el aumento proporcional de *outputs* que podría ser logrado por la unidad evaluada, dado sus niveles de *inputs*. La resolución del modelo se efectúa en un procedimiento de dos etapas donde se dará una solución óptima $(\varphi^*, s^{+*}, s^{*-})$, de tal forma que $\varphi \geq 1$. Así, cuanto mayor sea φ^* más ineficiente será la unidad evaluada. Una unidad será calificada como técnicamente eficiente si y solo si $\varphi^*=1$ y todas sus holguras nulas ($s^{+*}=0, s^{*-}=0$). La eficiencia técnica será igual a $1/\varphi^*$.

Primero se calcula φ , los valores calculados deben ser igual a mayor a la unidad.

$$\text{Max}_{\varphi, \lambda, s^+, s^-} \quad Z_0 = \varphi \quad (7)$$

Sujeto a:

$$\varphi y_0 - \lambda Y + s^+ \leq 0$$

$$\lambda X + s^- \leq x_0$$

$$\lambda, s^+, s^- \geq 0$$

La segunda etapa trata de reducir las holguras s^+, s^- ,

De tal forma que una unidad será calificada como técnicamente eficiente si y solo si $\varphi^*=1$ y todas sus holguras nulas $s^{+*}=0, s^{*-}=0$

$$\text{Max}_{\varphi, \lambda, s^+, s^-} \quad Z_0 = \varphi + \varepsilon(Is^+ + Is^-)$$

Sujeto a:

$$\varphi y_0 - \lambda Y + s^+ = 0$$

$$\lambda X + s^- = x_0$$

$$\lambda, s^+, s^- \geq 0$$

MODELO DEA RVE con orientación *output*:

$$\text{Max}_{\varphi, \lambda, s^+, s^-} \quad Z_0 = \varphi + \varepsilon(Is^+ + Is^-) \quad (8)$$

Sujeto a:

$$\lambda Y = \varphi y_0 + s^+$$

$$\lambda X = x_0 - s^-$$

$$\bar{\lambda} = 1$$

$$\lambda, s^+, s^- \geq 0$$

Donde Z_0 es la eficiencia de la unidad evaluada. Is^+ es el vector de holguras *output*. $Is^+ = \sum_{r=1}^s s_r^+$. Is^- es el vector de holguras *input*. $Is^- = \sum_{i=1}^m s_i^-$. El número de holguras Is^+ está determinado por la cantidad de *outputs* utilizados. El número de holguras Is^- está determinado por la cantidad de *inputs* utilizados. $\bar{\lambda} = 1$ es la restricción de convexidad (forma dual del intercepto K). Las restricciones es la suma de *inputs* más *outputs*. ε es una condición de positividad, es decir, que la suma de holguras siempre sea un número positivo o cero. y_0 es el vector de *outputs* de la unidad que está siendo evaluada. x_0 es el vector de *inputs* de la unidad que está siendo evaluada. X es la matriz de salida de *inputs* del orden $m \times n$ donde m es un *inputs* y n es una unidad de observación. Y es la matriz de entradas del orden $s \times n$ donde s es el número es un *output* y n es una unidad de observación. λ es el vector de pesos e intensidades. Así λX es el vector de pesos de la matriz de *inputs* y λY es el vector de pesos de la matriz de *outputs*.

El objetivo del modelo orientado a *outputs* es maximizar el aumento proporcional de *outputs* que podría ser logrado por la unidad evaluada, dado sus niveles de *inputs*. La resolución del modelo se efectúa en un procedimiento de dos etapas, dará una solución óptima $(\varphi^*, s^{+*}, s^{-*})$, de tal forma que $\varphi \geq 1$. Así, cuanto mayor sea φ^* más ineficiente será la unidad evaluada. Una unidad será calificada como técnicamente eficiente si y solo si $\varphi^*=1$ y todas sus holguras nulas ($s^{+*}=0, s^{-*}=0$). La eficiencia técnica será igual a $1/\varphi^*$.

2.2. Revisión de la literatura DEA en la agricultura.

DEA es una metodología de análisis de eficiencia ampliamente utilizada en el sector agrícola. Se ha utilizado para medir la eficiencia en el uso del agua referente al riego con el trabajo de Olmedo (2016) en el área del río Yaqui en Sonora México, Phandis y Kulsretha (2012) en India, Mahdhi (2013) en Túnez y Rodríguez (2004) en Andalucía España.

Se puede utilizar un análisis DEA a nivel de Unidad Productiva Agrícola UPA como lo hacen Rodríguez y Raña (2017), en el mismo sentido García (2016) analiza la eficiencia de las UPA en Uruguay, mientras que Umanath y Rajasekar (2013) y Tome et al. (2015) analizan la eficiencia de las UPAs en Rumania. A nivel región Lui et al. (2015) estudian la eficiencia de regiones agrícolas en China. Se puede analizar un sector específico en un país como el caso de Celso y Cortés (2010) que se enfocan en el sector azucarero en México.

Elhendy y Alkahtani (2013) comparan la eficiencia entre tipos de productores: convencionales y con sistemas orgánicos. Se utiliza DEA también para relacionar la eficiencia

con algunas variables relevantes en la agricultura como la incidencia de servicios públicos con la eficiencia en Chen et al. (2022), o la relación de la eficiencia con el tamaño de la UPA como en Helfand (2003) y Taylor y Helfand (2021). Ling (2019) realiza un estudio sobre la eficiencia en el uso de fertilizantes orgánicos.

El estudio de Becerril (2011) se centra en la eficiencia en México por entidades, para homogenizar los datos los relativiza y clasifica en tres grupos de acuerdo con su rango. Utiliza la producción bruta total del sector como *output* y como *inputs* la formación bruta de capital fijo y la población ocupada. Los resultados del estudio indican que solo cuatro entidades forman la frontera de eficiencia tanto si se consideran RVE como si se consideran RCE, las cuatro entidades fueron Aguascalientes, Coahuila, Colima y Nuevo León. Por su parte Sinaloa y Sonora solo son eficientes con RVE. La ET media con RVS fue de 0.32 y con RVS de 0.49, lo que indica un amplio potencial de mejora de más de 50%. Los estados con mayor ineficiencia fueron Tlaxcala, Zacatecas, Hidalgo y Morelos.

Un estudio de eficiencia con DEA de México es el elaborado por Ayvar et al. (2018), el objetivo de su estudio fue analizar la eficiencia del sector agropecuario mexicano dentro de APEC considerando como *output* el valor agregado del sector y como *inputs* la formación bruta de capital y el personal ocupado, además, incluyó como *bad output* o *output* no deseado la producción de dióxido de carbono. Elaboran un análisis de 1980 a 2015 con cortes cada cinco años. Los resultados muestran que en todos los cortes México fue eficiente junto con otros seis países entre los que están China, Estados Unidos, Indonesia, siendo Chile y Malasia los más ineficientes. Ayvar et al. (2018) complementan el estudio con un análisis del índice de Malmquist que mide el cambio tecnológico de un periodo a otro.

De acuerdo con la revisión de literatura, el *output* más utilizado es la producción en toneladas y en valor monetario. Para Gonçalves (2008) los indicadores más utilizados en el sector agropecuario como *inputs* para el análisis de eficiencia son los que tienen que ver con los factores de la producción: trabajo, capital y recursos utilizados. Los *inputs* más utilizados fueron la cantidad de diferentes tipos insumos como fertilizantes principalmente fosforo, potasio y nitrógeno, así mismo las semillas, costos de materiales y servicios, rendimiento por hectárea, días de trabajo, número de trabajadores, horas máquina, superficie, agua utilizada, inversión y capital.

Sokol y Frid (2023) hacen un análisis de eficiencia utilizando la metodología DEA, basado en datos de granjas de la República Checa del año 2015, y demuestran que la diversidad en las unidades de medida del capital y el trabajo influye significativamente en el orden de eficiencia de las unidades de decisión. Miao y Wang (2023) aplican el modelo DEA para evaluar la eficiencia agrícola de una ciudad, considerando insumos como superficie sembrada, maquinaria, fertilizantes y área de riego, y como producto el valor total de la producción. Al comparar los modelos CCR, BCC y de super-eficiencia, identifican el enfoque más adecuado para mejorar la productividad agrícola local.

Berk et al. (2022) evaluaron la eficiencia técnica de 111 granjas de maíz en Adana, Turquía, mediante el modelo DEA y una regresión Tobit. Los resultados mostraron una eficiencia promedio de 0.887, indicando que reducir los insumos en 11.3% permitiría alcanzar plena eficiencia; además, la mecanización, capacitación laboral y uso racional de insumos mejorarían el desempeño productivo. En la misma dirección Wang y Hu (2021) analizaron la eficiencia técnica de la producción de maíz en 18 granjas de 12 países entre 2012 y 2019 mediante el modelo DEA y una regresión Tobit. Encontró una eficiencia promedio de 0.863, señalando que las prácticas de labranza intensiva y de conservación son más eficientes y que

la relación entre mecanización y eficiencia tiene forma de “U”.

Hamad y Shabib, (2024) evaluaron la eficiencia técnica, asignativa y económica del maíz amarillo en 70 granjas de Hawija, Kirkuk, mediante el modelo DEA. Los resultados mostraron una eficiencia técnica promedio del 85% y económica del 82%, concluyendo que los productores no operan en el tamaño óptimo de producción, por lo que recomienda aprovechar los indicadores de eficiencia para mejorar su desempeño. Abbas et al. (2018) analizaron la eficiencia energética en la producción de maíz en Pakistán mediante el modelo DEA, con datos de 200 agricultores. Se encontró una eficiencia técnica promedio del 83% y que optimizar el uso de fertilizantes podría ahorrar 17.11% de energía, mejorando la productividad y sostenibilidad agrícola.

3. Materiales y Métodos.

Se va a desarrollar un modelo con Rendimientos Variables a Escala RVE con orientación *output* para medir la eficiencia técnica de la producción de granos básicos en la región APEC para el año 2022.

Se consideran como unidades de análisis DMU las economías de la región del APEC de acuerdo con a la producción agrícola y a la disponibilidad de datos que tiene cada una de ellas como se ve en el cuadro 1.

Cuadro 1. Economías consideradas para el análisis de eficiencia de los diferentes cultivos.

Producto	Economías del APEC
Arroz	Brunei Darussalam, Chile, Estados Unidos de América, Federación de Rusia, Filipinas, Filipinas, Indonesia, Malasia, México, Perú, Tailandia y Vietnam.
Frijol	Estados Unidos de América, Federación de Rusia, Filipinas, Indonesia, México, Perú, Tailandia y Vietnam.
Maíz	Estados Unidos de América, Federación de Rusia, Filipinas, Indonesia, Malasia, México, Perú, Tailandia y Vietnam.
Trigo	Canadá, Chile, Estados Unidos de América, Federación de Rusia, México, Perú y Tailandia.

Fuente Elaboración propia con base en FAO (2025).

3.1. Variables.

Las variables para el modelo se seleccionaron de acuerdo con la revisión de la literatura del apartado 3.1. que representan indicadores de los factores de la producción como lo indica Gonçalves (2008). En el caso del capital se representa por la cantidad de nitrógeno aplicado, se utiliza este *input* por ser un insumo vital para el crecimiento de los cultivos analizados (Farzadfar et al., 2021) y por la disponibilidad de información encontrada.

Los *inputs* fueron:

- i. I1= Total del área de tierra de cultivo destinada a la producción del grano en hectáreas;
- ii. I2=Nitrógeno promedio utilizado en el país kg/ha;
- iii. I3= Horas promedio por semana trabajadas por Población Ocupada PO en la agricultura.

El *output* considerado es :

- iv. O1=Rendimiento promedio del cultivo analizado (t/ha).

La basa de datos fue obtenida de la FAO para el año 2022 para cada una de las economías (FAO, 2025). Para el análisis de eficiencia se utilizó el programa *deaR* (Bolós et al., 2025) del *software R* versión 4.4.1 (R Core Team, 2024).

4. Análisis y discusión de resultados.

4.1. Resultados.

Para el caso del arroz, el cálculo de la eficiencia indica que el promedio de Eficiencia Técnica Pura EFT de la región es de 89%, lo cual muestra que es posible mejorar la eficiencia. Los países eficientes fueron Bunei Darassalam, Chile, Federación de Rusia, Filipinas, Indonesia, México y Perú. Por su parte Estados Unidos de América tuvo una eficiencia del 99% seguida por Vietnam con 0,93. El modelo indica que Estados Unidos pudo lograr la eficiencia si incrementara el rendimiento y llegar a un promedio de 8.32 t/ha, en el caso de Vietnam debería tener un promedio de 6.48 t/ha mientras que Tailandia y Malasia deberían tener rendimientos de 8.32 t/ha y 7.47 t/ha respectivamente (véase tabla 1).

Tabla 1. ETP y *targets* del modelo DEA en cultivo de arroz con orientación *output* y RVE.

País	ETP	Valor observado del rendimiento por hectárea	Valor objetivo (targets)
Brunei Darussalam	1.00	2.40	2.40
Chile	1.00	4.86	4.86
Estados Unidos de América	0.99	8.28	8.32
Federación de Rusia	1.00	5.42	5.42
Filipinas	1.00	4.11	4.11
Indonesia	1.00	5.24	5.24
Malasia	0.48	3.58	7.47
México	1.00	6.50	6.50
Perú	1.00	8.32	8.32
Tailandia	0.43	3.00	6.98
Vietnam	0.93	6.02	6.48
Promedio de la región	0.89	5.25	6.01

Fuente: Elaboración propia.

Para el cultivo de frijol la región tiene un promedio de eficiencia de 82%, donde los países de Estados Unidos de América, Federación de Rusia, Filipinas e Indonesia forman la frontera eficiente en el modelo propuesto. México tiene una eficiencia de 31%, Perú de 83%, Tailandia de 50% y Vietnam de 89%. Los resultados muestra que para llegar a ser eficientes México debería tener un rendimiento promedio de 2.14 t/ha, es decir, incrementar un 321%, en el caso de Perú, debe incrementar su rendimiento hasta lograr un promedio de 1.55 t/ha, Tailandia 1.52 t/ha y Vietnam 1.55 t/ha (véase tabla 2).

Tabla 2. ETP y *targets* del modelo DEA en cultivo de frijol con orientación *output* y RVE.

País	ETP	Valor Observado del rendimiento por hectárea	Valor Objetivo (targets)
Estados Unidos de América	1.00	2.37	2.37
Federación de Rusia	1.00	1.43	1.43
Filipinas	1.00	0.89	0.89

Indonesia	1.00	1.11	1.11
México	0.31	0.67	2.14
Perú	0.83	1.28	1.55
Tailandia	0.50	0.76	1.52
Vietnam	0.89	1.22	1.37
Promedio de la región	0.82	1.22	1.55

Fuente: Elaboración propia.

El promedio de eficiencia en el cultivo de maíz es de 94%, donde 8 países forman la frontera de producción, en el caso de México es el único país ineficiente, contando con una eficiencia del 50%. De acuerdo con el valor esperado y al valor objetivo, para ser eficiente México tendría que elevar su producción en un 100% y producir un promedio de 7.7 t/ha (véase tabla 3).

Tabla 3. ETP y *targets* del modelo DEA en cultivo de maíz con orientación *output* y RVE.

País	ETP	Valor Observado del rendimiento por hectárea	Valor objetivo (targets)
Estados Unidos de América	1	10.89	10.89
Federación de Rusia	1	6.00	6.00
Filipinas	1	3.27	3.27
Indonesia	1	8.09	8.09
Malasia	1	3.32	3.32
México	0.50	3.90	7.77
Perú	1	3.50	3.50
Tailandia	1	4.67	4.67
Vietnam	1	5.00	5.00
Promedio de la región	0,94	5.40	5.83

Fuente: Elaboración propia.

La eficiencia promedio de la región en el cultivo de trigo es de 79%, lo cual indica que considerando los *inputs* analizados es posible incrementar el rendimiento por hectárea en un 21%. Para este grano son tres países los que forman la frontera eficiente: México, Federación de Rusia y Tailandia. Para lograr ser eficientes, el modelo muestra que Canadá, Chile y Estados Unidos de América deberían de tener un rendimiento promedio de 6.06 t/ha y Perú de 3.97 t/ha. El país menos eficiente en el cultivo de trigo es Perú con 45% seguido por Estados Unidos de América y Canadá con una ETP de 52% y 56% respectivamente (véase tabla 4).

Tabla 4. ETP y *targets* de modelo DEA en cultivo de trigo con orientación *output* y RVE.

País	ETP	Valor Observado del rendimiento por hectárea	Valor objetivo (targets)
Canadá	0.56	3.41	6.06
Chile	0.97	5.89	6.06
Estados Unidos de América	0.52	3.13	6.06
Federación de Rusia	1.00	3.55	3.55
México	1.00	6.06	6.06
Perú	0.45	1.77	3.97
Tailandia	1.00	1.04	1.04
Promedio de la región	0.79	3.55	4.69

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Análisis e interpretación de resultados.

A continuación, se presentan los resultados de eficiencia obtenidos para los cultivos de frijol, maíz y trigo, así como sus principales aportes al análisis comparativo dentro de la región APEC. Cada cultivo se evalúa de manera independiente debido a que la selección de países difiere entre ellos, lo que implica que las fronteras de eficiencia generadas por el modelo DEA no son idénticas. Por esta razón, el análisis se centra en interpretar los niveles de eficiencia y las características productivas específicas de cada grano, más que en establecer comparaciones directas entre cultivos.

En el caso del frijol los resultados muestran que para llegar a ser eficientes México debería tener un rendimiento promedio de 2.14 t/ha cuando solamente produce 0.67 t/ha, es decir, es un gran consumidor pero el productor más ineficiente de la región APEC. El análisis muestra que el *input* que no se utiliza de manera adecuada es la superficie destinada a este grano ya que se está destinando cuatro veces más superficie de lo que se debería destinar para ser eficiente. Según datos de SADER (2024), el cultivo del frijol se encuentra en todas las entidades de la república, no obstante, predomina su cultivo en la modalidad de temporal con el 87% de la superficie cultivada y el 66% de la producción total, con bajos rendimientos. De esta manera, mientras que destinan 1.269 millones de hectáreas para producir 643 mil toneladas, solo se destinan 322 mil hectáreas que logran producir 965 mil toneladas, es decir, una cuarta parte de superficie de riego produce 1.5 veces que la modalidad de temporal.

El maíz es el cultivo más importante en México, 99% de los municipios lo producen, es al que mayor proporción de tierra se destina y forma parte fundamental de la cultura y la economía en el campo mexicano, no obstante es el más ineficiente de los países de la región APEC con un rendimiento 39% por debajo del promedio de la región. De acuerdo con el modelo y los *inputs* utilizados, solamente el que se refiere al fertilizante es ineficiente, ya que la cantidad de nitrógeno promedio por hectárea debe ser 20% menos de la que se usó en 2022. El problema no es la falta de fertilizante, sino el ineficiente uso de este.

La producción de trigo cuenta con tres países que forman la frontera de eficiencia, entre los que se encuentra México, Federación de Rusia y Tailandia. El promedio de ETP es de 79%, los países menos eficientes son Perú, Estados Unidos de América y Canadá con el 45%, 52% y 56% respectivamente. En el caso mexicano, el trigo es un cultivo que tiene poca relevancia entre los productores sobre todo de temporal, ya que el 87% de este cultivo se hace en modalidad de riego, misma modalidad que produce el 96% de toda la producción, la cual es insuficiente para la demanda nacional.

4.3 Discusión de Resultados.

Los resultados obtenidos coinciden con la evidencia empírica presentada en la literatura especializada sobre eficiencia agrícola mediante DEA. Estudios como los de Sokol y Frýd (2023), Berk et al. (2022), Abbas et al. (2018) y Wang y Hu (2021) destacan que la eficiencia técnica depende en gran medida del manejo de los recursos y de la incorporación de tecnología e infraestructura, más que del aumento de los factores de producción.

En este sentido, los hallazgos del presente trabajo reafirman que México enfrenta limitaciones similares a las observadas en otros países en desarrollo: un uso ineficiente de insumos críticos como el fertilizante y una dependencia excesiva de la agricultura de temporal. Asimismo, los resultados respaldan el planteamiento de Farrell (1957) y Coelli

et al. (2005), en cuanto a que la eficiencia es un fenómeno relativo y condicionado por las estructuras tecnológicas e institucionales de cada país.

Por lo tanto, la comparación dentro de la región APEC permite ubicar a México en un punto intermedio entre las economías con alto desarrollo agrícola y aquellas con rezagos estructurales, evidenciando la necesidad de fortalecer la innovación, la capacitación técnica y la gestión sustentable de los recursos para mejorar la productividad y reducir las brechas de eficiencia.

Este estudio representa una contribución significativa al análisis comparativo internacional de la eficiencia agrícola, al integrar a México dentro del contexto de las economías del APEC mediante la aplicación del modelo DEA con rendimientos variables a escala. Su principal fortaleza radica en la construcción de un marco empírico que permite identificar con precisión los factores que determinan la eficiencia en la producción de granos básicos, ofreciendo evidencia cuantitativa útil para el diseño de políticas públicas orientadas a mejorar la productividad y sostenibilidad del sector agrícola. Además, el enfoque metodológico empleado proporciona una herramienta flexible y replicable para futuras investigaciones que busquen evaluar la eficiencia en distintos cultivos o periodos, consolidando así una base analítica sólida para la toma de decisiones en materia de seguridad alimentaria y desarrollo rural sustentable.

Conclusiones.

Las políticas públicas en la agricultura constituyen el principal mecanismo mediante el cual el gobierno puede impulsar la productividad del sector y atender los problemas estructurales que enfrentan los productores, como la falta de regulación eficiente, el limitado acceso al crédito, la escasa infraestructura de riego y la deficiente conectividad rural. La productividad depende directamente de qué tanto se logra producir con los recursos disponibles, mientras que la eficiencia se asocia con la capacidad de gestionar esos recursos de forma óptima.

En este estudio se analizó la posición de México dentro de la región APEC con el propósito de comparar el uso de los recursos seleccionados con el rendimiento promedio de los cultivos de arroz, frijol, maíz y trigo. Los resultados muestran que los dos granos que menos se producen en México —arroz y trigo— son los más eficientes dentro de la región, mientras que los granos con mayor superficie cultivada —maíz y frijol— presentan los niveles más bajos de eficiencia. Esto sugiere que la expansión extensiva de la superficie cultivada no necesariamente garantiza una mayor productividad, sino que la eficiencia depende en gran medida de la gestión y calidad de los factores productivos.

El análisis sugiere que la eficiencia observada se explica principalmente por dos indicadores del modelo DEA: la superficie y la fertilización. En el caso de la superficie, los cultivos más eficientes utilizan una mayor proporción bajo modalidad de riego (78 % en trigo y 87 % en arroz), mientras que en los cultivos de frijol y maíz predomina la modalidad de temporal, asociada a menor productividad. Respecto al uso de fertilizantes, los resultados muestran que en el caso del maíz las cantidades de nitrógeno aplicadas podrían generar rendimientos significativamente mayores si se emplearan con mayor eficiencia. Bajo las mismas condiciones de trabajo, superficie y fertilización, México podría duplicar sus rendimientos de 2022.

A partir de 2019, el programa Fertilizantes para el Bienestar se implementó con la finalidad de mejorar el acceso a insumos y reducir costos de producción. No obstante, los resultados de este estudio indican que la política pública agrícola debe ir más allá del simple otorgamiento de insumos, incorporando estrategias orientadas a la optimización técnica del uso de los recursos y al fortalecimiento de la infraestructura de riego. Incentivar políticas públicas que promuevan el riego tecnificado y la capacitación productiva permitiría un uso más eficiente de los inputs y un aumento sostenido de la productividad.

Entre las limitantes del estudio, se reconoce que el modelo DEA aplicado consideró únicamente tres factores productivos (superficie cultivada, horas trabajadas y nitrógeno utilizado), los cuales, si bien son representativos, no capturan la totalidad de variables que influyen en la eficiencia agrícola. Factores como la mecanización, la calidad del suelo, la inversión en tecnología, el acceso al crédito, las condiciones climáticas y la infraestructura de almacenamiento también inciden en el desempeño productivo, por lo que futuras investigaciones deberían incorporarlos para obtener un análisis más integral.

Finalmente, en relación con la literatura revisada, los resultados de este trabajo coinciden con las conclusiones de Farrell (1957) y Coelli et al. (2005), quienes destacan que la eficiencia técnica no depende únicamente del uso de recursos, sino también de factores estructurales, institucionales y tecnológicos. Asimismo, estudios previos sobre eficiencia agrícola mediante DEA evidencian que los países con mayor inversión en innovación, transferencia tecnológica y políticas agrícolas sostenibles alcanzan mejores resultados. En este sentido, los hallazgos de este artículo confirman la necesidad de redirigir la política agrícola mexicana hacia la modernización tecnológica, la gestión eficiente del agua y la sostenibilidad ambiental como pilares para mejorar la eficiencia y competitividad del sector rural.

Referencias bibliográficas

- Abbas, A., Yousaf, K., Elahi, E., Iqbal, T., Yang, M., & Ahmad, M. (2018). Improving energy use efficiency of corn production by using data envelopment analysis (a non-parametric approach). *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(7), 4725–4733.
- Appendini, K. (2001). *De la milpa a los tortibonos: la reestructuración de la política alimentaria en México*. El colegio de México, Centro de Estudios Económicos, Instituto de Investigaciones de las Naciones Unidas para el Desarrollo Social. Segunda Edición.
- Ayvar C., F. J.; Navarro O., J. C. L.; & Zamora T., A. I. (2018). El sector agropecuario mexicano en APEC: Un análisis a través de la envolvente de datos con presencia de bad outputs. *Análisis Económico* 33(83), 125-143.
- Banker, R., Charnes, A. & Cooper, W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30 (9), 1078-1092.
- Becerril, O.; Rodríguez, G.; & Ramírez J. (2011). Eficiencia técnica del sector agropecuario de México: Una perspectiva de análisis envolvente de datos. *Economía*. 35(31), 85-110.
- Berk, A., Güney, O. İ., & Sangün, L. (2022). Measurement of resource use efficiency in corn production: A two-stage data envelopment analysis approach in Turkey. *Ciência Rural*, 52(10), e20210022. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210022>

- Bolós V, Benítez R, & Coll-Serrano V (2025). “deaR: Conventional and fuzzy DEA models with R.” *SoftwareX*, **31**, 102266, 1–6. [doi:10.1016/j.softx.2025.102266](https://doi.org/10.1016/j.softx.2025.102266).
- Celso, A. & Cortés, F. 2010. Análisis de la eficiencia técnica relativa de la agroindustria azucarera: el caso de México. *Revista Mexicana de Agronegocios. Quinta Época*. 14(26).
- Charnes, A., Cooper, W. & Rhodes, E. (1978). Measurement the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- Chen, T., Rizwan, M., & Abbas, A. (2022). Exploring the role of agricultural services in production efficiency in Chinese agriculture: A case of the socialized agricultural service system. *Land*, 11(3), 347. <https://doi.org/10.3390/land11030347>
- Coll S., V. & Blasco B., O. M. (2006). *Evaluación de la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos: introducción a los modelos básicos*. Universidad de Valencia
- Cooper, W., Seiford, L. & Tone, K. (2006). *Introduction to Data Envelopment Analysis and its uses*. New York: Springer-Verlag
- Debreu, G. (1951). The coefficient of resource utilization. *Econometrica*, 19(3), 273-292. <https://doi.org/10.2307/1906814>
- Dios P., R. (2004). El análisis de eficiencia en el sector público mediante métodos de frontera. *Auditoria y gestión de los fondos públicos*, (33), 39-48.
- Elhendy, A. M. & Alkahtani, S. H. 2013. The resource use efficiency of conventional and organic date farms in Saudi Arabia: A date envelopment analysis approach. *The Journal of Animal & Plant Sciences*. 23(2), 596-602.
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society Series A*, 120(3) Pp 253-290. <http://www.jstor.org/stable/2343100>
- Farzadfar, S., Knight, J. D., & Congreves, K. A. (2021). Soil organic nitrogen: An overlooked but potentially significant contribution to crop nutrition. *Plant and Soil*, 462(1–2), 7–23. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-04860-w>
- Fox, J., & Haight, L. (2010). *La política agrícola mexicana: metas múltiples e intereses en conflicto*. Woodrow Wilson International Center for Scholars.
- García S., F. (2016). La metodología Análisis Envolvente de Datos DEA: Una aplicación a la producción de arroz en Uruguay. *Agrociencia Uruguaya*, 20(num1), 99-112 . DOI: 10.31285/AGRO.20.1.13
- Giraleas, D. (2013), “*The Measurement and Decomposition of Eco nomyWide Productivity Growth. Assessing the Accuracy and Selecting between Different Approaches*”, tesis de doctorado, Londres, Aston University.
- Gonçalves Gomes, E. (2008). Uso de modelos DEA em agricultura: Revisão da literatura. *ENGEVISTA*, 10(1), 27-51.
- Hamad, M. & Shabib, M. M. (2024). Estimating the levels of technical and economic efficiency of yellow corn crop farms in Kirkuk Governorate - Hawija district (a model) For the production season 2022 AD. *Tikrit Journal for Agricultural Sciences*, 24(1), 263-275. doi: 10.25130/tjas.24.1.21
- Helfand, S. M. (2003). *Farm size and the determinants of productive efficiency in the brazilian center-west*. *Agecon Search*. Paper presented at the 25th International Conference of Agricultural Economists, August 16-22, Durban, South Africa
- Hernández L., E. (2007). La productividad multifactorial: concepto, medición y significado *Economía: Teoría y práctica*, (26), 31-67 Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa Distrito Federal, México.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática INEGI (2023). Censo Agropecuario 2022. Resultados definitivos.
- Jiménez R., A. H.; Delgado B., E. E. & Gaona V., G. (2001). Modelo de productividad de David Sumanth aplicado a una empresa del sector de maquinaria no eléctrica. *Academia y Desarrollo*, 6(2), 81-87 <https://doi.org/10.14483/23448393.2707>
- Koopmans, T. (1951). Efficient allocation of resources. *Econometrica*, 19(4), 455-465. <https://doi.org/10.2307/1907467>
- Liang, Y., Jing, X., Wang, Y., Shi, Y., & Ruan, J. (2019). Evaluating production process efficiency of provincial greenhouse vegetables in China using data envelopment analysis: A green and sustainable perspective. *Processes*, 7(11), 780. <https://doi.org/10.3390/pr7110780>
- Liu, S.; Zhang, P.; He, X.; & Li, J. (2015). Efficiency change in North-East China agricultural sector: A DEA approach. *Agri.Econ-Czech*, 61(11), 522-532 doi: 10.17221/233/2014-AGRICECON
- López S., P. (2019). *Procampo a Proagro: transformaciones de la principal política pública para el campo mexicano a partir del libre comercio. Centro de estudios para el cambio en el campo mexicano CCECAM. 1-39*
- Mahdhi, N.; Sghaier, M. & Smida Z. (2014). Efficiency of the irrigation water user association in the Zeuss-Koutine region, south-eastern Tunisia. *Tunisie. New Medid No 2. 9 p. 47-55*
- Mawson, Peter; Carlaw, Kenneth I. & McLellan, Nathan (2003). Productivity measurement: Alternative approaches and estimates. *New Zeland Treasury Working Paper 03(12)*. New Zealand Government.
- Miao, Y. & J. Wang (2023). Application of DEA Model in Agricultural Production Efficiency Evaluation. *IEEE International Conference on Electrical, Automation and Computer Engineering (ICEACE), Changchun, China*, pp. 46-50, doi: 10.1109/ICEACE60673.2023.10442153.
- Navarro Chávez, J. C. & Torres Hernández, Z. (2007). Eficiencia técnica y asignativa del sector eléctrico en México en su fase de distribución: Un análisis a través de los modelos de frontera DEA. *Mundo siglo XXI Revista del Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales del Instituto Politécnico Nacional* (7), 35-45.
- Olmedo V., V. M.; Minjares L., J. L.; Camacho P., E.; Hernández H., M. L. & Rodríguez D., J. A. (2016). Uso del Análisis Envolvente de Datos (DEA) para evaluar la eficiencia de riego en los módulos del Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui (Sonora, México). *Revista FCA UNCUIYO* 49(2), 127-148.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2025). FAOSTAT- DATOS [Base de datos] <https://www.fao.org/faostat/es/#data>
- Phadnis, S. S. & Kulshrestha, M. 2012. Evaluation of irrigation efficiencies for water users' associations in a major irrigation project in India by DEA. *Benchmarking: An International Journal*. 19(2), 193-218.
- R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing* (Versión 4.4.1) [Software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>.
- Rodríguez Díaz, J. A.; Camacho Poyato, E. & López Luque, R. 2004. Application of Data Envelopment Analysis to Studies of Irrigation Efficiency in Andalusia. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 130, 175-183.

- Rodríguez S., R; Pía B., M. & Raña, E. (2017). Eficiencia técnica en la agricultura familiar: Análisis envolvente de datos DEA versus aproximaciones de fronteras estocásticas SFA. *Nova Scientia* 18(9), 342-370.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2019, 18 de enero). *Granos básicos: alimentación, agricultura y comercio*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/granos-basicos-alimentacion-agricultura-y-comercio>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2022, 18 de marzo). *Acuerdo por el que se dan a conocer las Reglas de Operación del Programa Producción para el Bienestar para el ejercicio fiscal 2022*. Diario Oficial de la Federación. <https://sidof.segob.gob.mx/notas/5646225>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2021, 31 de diciembre). *Acuerdo por el que se dan a conocer las Reglas de Operación del Programa de Fertilizantes para el ejercicio fiscal 2022*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5639904
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural SADER (2024). Sistema de Información Agro-alimentario de Consulta SIACON. [Base de datos]. <https://drive.google.com/drive/folders/1x-P8KKIejWPly2QouHUOffgOSWwPXaS>
- Sokol, O., & Frýd, L. (2023). *DEA efficiency in agriculture: Measurement unit issues*. *Socio-Economic Planning Sciences*, 86, 101497. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101497>
- Taylor, M. P. H., & Helfand, S. M. (2021). *The Farm Size – Productivity Relationship in the Wake of Market Reform: An Analysis of Mexican Family Farms*. University of California, Riverside. *Paper presented virtually at the 31st Triennial International Conference of Agricultural Economists (ICAE), August 17-31*.
- Toma, E.; Dobre, C.; Dona, I. & Cofas, E. (2015). DEA applicability in assessment of agriculture efficiency on areas with similar geographically patterns. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 6, 704-711. doi: 10.1016/j.aaspro.2015.08.127
- Umanath, M. & Rajasekar, D. D. (2013). Estimation of technical, scale and economic efficiency of paddy farms: A Data Envelopment Análisis approach. *Journal of Agricultural Science*, 5(8), 243-251. doi:10.5539/jas.v5n8p243
- Wang J, Hu X. (2021) Research on corn production efficiency and influencing factors of typical farms: Based on data from 12 corn-producing countries from 2012 to 2019. *PLoS ONE* 16(7): e0254423. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254423>
- Yúnez N., A. (2010). Políticas públicas dirigidas al sector rural. El carácter de las reformas para el cambio estructural. En A. Yúnez (Coor). (Antonio Yúnez). *Los grandes problemas de México. Economía Rural* (Pp 23-62). El Colegio de México.