

Eficiencia técnica del sector agropecuario de México: Una perspectiva de análisis envolvente de datos

*Technical efficiency of the agricultural sector in Mexico:
An overview of data envelopment analysis*

Oswaldo U. Becerril-Torres*, **Gabriela Rodríguez Licea****
y **Javier Jesús Ramírez Hernández*****

Código JEL: C14, D24, O15, O47

Recibido: 23/05/2011, Revisado: 15/06/2011, Aceptado: 28/06/2011

Resumen

Esta investigación contribuye al entendimiento de la manera en que se hace uso de los factores productivos y se determina la eficiencia técnica del sector agropecuario de México. La metodología empleada es el análisis envolvente de datos. Los resultados muestran que los estados del norte del país son los líderes en el sector, que los estados del centro-norte determinan la frontera de producción eficiente y únicamente ocho de éstos operan eficientemente bajo rendimientos variables a escala mientras que 24 operan en el segmento de rendimientos decrecientes a escala. La eficiencia promedio de las entidades federativas es de 0,49, por lo que existe la posibilidad de mejorar el producto en 51% haciendo mejor uso del capital y el empleo.

Palabras clave: Análisis envolvente de datos, eficiencia técnica, rendimientos variables a escala, rendimientos constantes a escala.

Abstract

The aim of this paper is to understand the agricultural sector in Mexico by looking at the way productive factors are being used and its technical efficiency. By means of data envelopment analysis, the empirical evidence shows that the northern states of the country are leaders in the sector, the north-central states determine the efficient production frontier and only eight of them operate efficiently under variable returns to scale, while 24 operate in the segment decreasing returns to scale. The overall efficiency of the states is 0.49, so

* Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Economía, Cerro de Coatepec s/n, Ciudad Universitaria, Toluca, Estado de México. C. P. 50120, México. Correo electrónico: obecerrilt@uaemex.mx.

** Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Economía, Cerro de Coatepec s/n, Ciudad Universitaria, Toluca, Estado de México. C. P. 50120. Correo electrónico: grl1972@colpos.mx.

*** Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario UAEM Tenancingo, Tenancingo, Estado de México. C. P. 52400. Correo electrónico: jjramirez@uaemex.mx.

there is the possibility of increasing output by 51% by making a better use of capital and labor.

Key words: Data envelopment analysis, technical efficiency, variable returns to scale, constant returns to scale.

1. Introducción

En México la crisis alimenticia, de combustibles, económica y financiera ha afectado la dinámica del sector agropecuario y puesto en riesgo la seguridad alimentaria. Este hecho justifica analizar la problemática de este sector y los retos que se tendrán que enfrentar en el futuro para alcanzar el índice de seguridad alimentaria recomendada por la FAO (producir internamente al menos 75% del consumo de alimentos).

La crisis económico-financiera ha complicado la situación alimentaria como resultado de una reducción en la inversión pública, en la generación de empleos y en los salarios de los trabajadores del sector agropecuario: la inversión tiene un bajo rendimiento, existe una reducción en el crédito, y en la liquidez, y hay una mayor incertidumbre y riesgo. Es importante mencionar que otros factores que han afectado de manera importante la dinámica del sector agropecuario son la deficiente integración de la cadena productiva, las tendencias globales del comercio agroalimentario y las tendencias del consumidor.

Por lo anterior, se pueden identificar retos que tendrá que enfrentar el sector agropecuario, entre ellos, el crecimiento poblacional y el consumo diferenciado por tipo de población; la incertidumbre de los mercados como resultado de los cambios en los precios y disponibilidad de alimentos; la competencia de alimentos para consumo humano y para producción de agro-combustibles, y la disminución en la disponibilidad de agua y superficie destinada a la actividad agropecuaria. Para enfrentar estos retos es necesario tener un mayor conocimiento del sector. Es por ello que en este estudio se calcula un indicador de eficiencia técnica de las entidades federativas de México a fin de poder determinar la manera en que están combinando sus factores productivos: capital y empleo, y conocer cuáles son las entidades federativas que están realizando las mejores prácticas y cuáles aun tienen la posibilidad de mejorar. Para

ello, se hace uso de técnicas no paramétricas para la determinación de la eficiencia técnica agropecuaria. Así, de manera inicial, se realiza la revisión de la literatura destacada. En ésta, se identifica que la literatura tradicional sobre los determinantes de la producción no tiene en consideración la posible existencia de ineficiencia en el uso de los factores productivos. Ésta ha utilizado funciones de producción medias, en donde se supone que todas las unidades productivas funcionan de manera eficiente alcanzando la frontera de producción potencial; sin embargo, recientemente se reconoce que existen brechas entre la eficiencia técnica potencial y la observada en la realidad empírica, derivadas del hecho de que no se están realizando las mejores prácticas en el proceso productivo.

Es así como surge una línea de investigación que plantea modelos basados en las técnicas de frontera no paramétrica que permiten identificar el uso ineficiente de los factores productivos y realizar estimaciones bajo estas condiciones. La evidencia empírica en la que se hace uso de este tipo de cálculos *frontera* permite observar la existencia de ineficiencias en el uso de los factores productivos privados (Gumbau y Maudos, 1996; Beeson y Husted, 1989). Entre los trabajos que se basan en técnicas no paramétricas están los realizados por Maudos *et al.* (1998, 1999) y Salinas *et al.* (2001), quienes analizan las regiones españolas. Por su parte, Domazlicky y Weber (1997) y Boisso *et al.* (2000) se centran en la economía estadounidense, mientras que Lynde y Richmond (1999) analizan el Reino Unido. Así mismo, Peñalosa (2006) aplica la metodología al sistema de salud en Colombia. Por su parte, Lucía *et al.* (2007) analiza las universidades públicas en Argentina y Mahallati y Hosseinzadek (2010) proponen un método de redes de análisis envolvente de datos para estimar la eficiencia en universidades.

En México son pocos los trabajos que incorporan el cálculo de la eficiencia técnica en la producción mediante técnicas no paramétricas, entre los que se identifican el de Sigler (2004), quien analiza la eficiencia en la producción de investigación económica en la Ciudad de México; Nevárez *et al.* (2007) y Salinas *et al.* (2009) aplican su análisis al ámbito de la sanidad; Villarreal y Cabrera (2007) proponen diferentes esquemas para hacer más eficiente el uso del AED para resolver problemas de optimización de criterios múltiples y Navarro y Torres (2006) lo

aplican a la industria eléctrica de México. En el ámbito de análisis de la eficiencia técnica, esta metodología ha sido aplicada por Álvarez *et al.* (2008) para la determinación de la frontera tecnológica de las entidades federativas de México, también por Ablanado-Rosas y Gemoets (2010) a los aeropuertos de México y Griffin y Woodward (2011) al ámbito pesquero. Sin embargo, para este país no se identifican estudios que contribuyan a tener un mejor entendimiento en el ámbito agropecuario. Por ello, el objetivo de esta investigación es determinar la eficiencia técnica del sector agropecuario de las entidades federativas del país, e identificar cuáles están realizando las mejores prácticas en sus procesos productivos.

Para la consecución de dicho objetivo, el estudio se estructura de la siguiente manera: en el apartado dos se desarrolla la metodología considerada. En el tres se exponen las bases de datos utilizadas y fuentes de información empleadas. En el apartado cuatro se presentan los resultados obtenidos. Por último, se presentan las principales conclusiones.

2. Metodología

El cálculo de la ineficiencia ha supuesto la principal motivación en el estudio de las fronteras de producción. Desde esta perspectiva, existen dos enfoques en la construcción de fronteras: el basado en las técnicas de programación matemática, y el que se fundamenta en las herramientas econométricas. La principal ventaja del primero de ellos radica en que no necesita imponer una forma funcional explícita sobre los datos.

Desde el punto de vista no-paramétrico empíricamente se implantan las medidas de eficiencia desarrolladas por Farrell (1957) usando métodos de programación lineal, denominados Análisis Envoltente de Datos (AED). Farrell propuso que la eficiencia de una unidad de decisión (UD)¹ se constituye de dos componentes: “eficiencia técnica”, que refleja la habilidad para obtener el máximo producto para un conjunto dado de insumos, y la “eficiencia en precios”, que refleja la habilidad para usar los insumos en las proporciones óptimas, dados sus respectivos precios. Este análisis centra la atención en las medidas de

eficiencia técnica orientadas al producto, que responden a la pregunta acerca de cuánto se puede expandir la producción sin alterar la cantidad de insumos necesaria.²

El modelo AED sobre el que se efectúa el cálculo de la eficiencia técnica y de escala es el desarrollado en Seiford y Thrall (1990).³ El propósito de estos modelos radica en construir una frontera de posibilidades de producción no-paramétrica, que envuelva los datos y que permita identificar a las UD's que la determinan, es decir, que funcionan eficientemente. Así, considérense N unidades de decisión en donde cada UD consume cantidades de M insumos para producir S productos. Específicamente, la UD _{j} consume X_{ji} del insumo i y produce Y_{jr} del producto r . Se supone que $X_{ji} \geq 0$ y $Y_{jr} \geq 0$. Asimismo, X e Y son matrices de tamaño $M \times N$ y $S \times N$, que contienen la totalidad de insumos y productos correspondientes a las N UD's consideradas (en este estudio, la j -ésima UD hace referencia a la j -ésima entidad federativa del país; con $j=1, 2, \dots, 31$). Para una UD su razón cociente insumo/producto proporciona una medida de eficiencia. En programación matemática esta razón, que se minimiza, constituye la función objetivo de la UD analizada. Por su parte, la incorporación de restricciones normalizadas refleja la condición de que el cociente insumo/producto de cada UD debe ser superior a la unidad, de manera que la frontera calculada envuelva a las distintas combinaciones insumo producto correspondientes a la totalidad de UD's consideradas. Por tanto, el programa matemático para el cociente de eficiencia será:

$$\begin{aligned} & \text{Min } v^T x_0 / u^T y_0 \\ & \quad u, v \\ \text{s. a. } & v^T x_j / u^T y_j \geq 1 \quad j = 1, 2, \dots, N \\ & \quad u \geq 0 \\ & \quad v \geq 0 \end{aligned}$$

donde las variables son u y v son vectores de tamaño $S * 1$ y $M * 1$, respectivamente. De esta forma, se calculan los pesos óptimos u^* y v^* , asociados a los productos e insumos. Sin embargo, este último problema proporciona infinitas soluciones para lo cual se incorpora la restricción $\mu^T y_0 = 1$, que lleva a obtener como resultado de la transformación:

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } v^T x_0 \\
 & \quad \mu, v \\
 & \text{s. a. } \mu^T y_0 = 1 \\
 & v^T X - \mu^T Y \geq 0 \\
 & \quad \mu^T \geq 0 \\
 & \quad v^T \geq 0
 \end{aligned}$$

Cuyo problema dual es:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } \phi \\
 & \quad \phi, \lambda \\
 & \text{s. a. } X\lambda \leq x_0 \\
 & \phi y_0 - Y\lambda \leq 0 \\
 & \quad \lambda \geq 0
 \end{aligned} \tag{2.1.}$$

donde ϕ es un escalar y λ es un vector .

El proceso se repite para cada UD_j introduciendo en el problema anterior $(x_0, y_0) = (x_j, y_j)$. Una UD es ineficiente si $\phi^* < 1$ y eficiente si $\phi^* = 1$. Por tanto, todas las UD's eficientes se sitúan en la frontera de posibilidades de producción. Sin embargo, una UD puede situarse en la frontera $\phi^* = 1$ y ser ineficiente. Las restricciones impuestas conducen a la eficiencia en el punto (x_0, y_0) para un λ^* óptimo cuando éstas se cumplen con igualdad, es decir $x_0 = X\lambda^*$ y $y_0 = Y\lambda^*$. Una UD ineficiente puede llegar a ser más eficiente cuando se proyecta sobre la frontera, aunque es necesario distinguir entre un punto fronterizo y un punto fronterizo eficiente. Para una orientación al insumo, la proyección $(x_0, y_0) \rightarrow (x_0, \phi^* y_0)$ siempre conduce a un punto fronterizo, pero la eficiencia técnica sólo se alcanza si $x_0 = X\lambda^*$ y $y_0 = Y\lambda^*$, para todo λ^* óptimo. Entonces, para alcanzar eficiencia técnica total las restricciones deben cumplirse con igualdad.

El modelo planteado supone rendimientos constantes a escala, en cuyo caso las medidas de eficiencia orientadas al insumo y orientadas al producto son equivalentes (Fare y Lovell, 1978). Sin embargo, las imperfecciones en el mercado y las restricciones financieras, entre otras, pueden provocar que una UD deje de operar a escala óptima. Por este motivo, Banker, Charnes y Cooper (1984) amplían el modelo suponiendo rendimientos variables a escala, lo que permite calcular eficiencias de escala. Para ello, se debe incorporar la restricción $e^T \lambda = 1$ ("e" es un vector columna cuyos componentes son la unidad) en el modelo (2.1.), obteniendo:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } \phi \\
 & \phi, \lambda \\
 & \text{s. a. } X\lambda \leq x_0 \\
 & \phi y_0 - Y\lambda \leq 0 \\
 & \lambda \geq 0 \\
 & e^T \lambda = 1
 \end{aligned}
 \tag{2.2.}$$

Analíticamente, la restricción $e^T \lambda = 1$ genera un requerimiento de convexidad que obliga a la frontera eficiente de posibilidades de producción a constar de segmentos que unen los puntos extremos. De esta forma, se consigue una medida de eficiencia técnica “pura” (sin eficiencias de escala). Sin embargo, las medidas de eficiencia de escala obtenidas mediante este procedimiento no indican cuándo la UD opera en un área de rendimientos crecientes o decrecientes. Por ello, se plantea un modelo alternativo, incorporando la restricción $e^T \lambda \leq 1$ (rendimientos crecientes no permitidos) en el modelo (2.1.):

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } \phi \\
 & \phi, \lambda \\
 & \text{s. a. } X\lambda \leq x_0 \\
 & \phi y_0 - Y\lambda \leq 0 \\
 & \lambda \geq 0 \\
 & e^T \lambda \leq 1
 \end{aligned}
 \tag{2.3.}$$

La naturaleza de las eficiencias de escala para una UD particular se determina comparando las medidas de eficiencia técnica obtenidas mediante la implantación de los modelos (2.2.), en la que se suponen rendimientos a escala variables, y (2.3.), en la que únicamente se permiten rendimientos decrecientes a escala. Así pues, si éstas coinciden en ambos modelos, entonces la UD considerada presenta rendimientos decrecientes a escala (en caso contrario, rendimientos crecientes).

3. Bases de datos y fuentes de información

El sector agropecuario en México, de acuerdo a la clasificación del sistema de cuentas nacionales de México, SCNM, incluye actividades

de agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza de los 31 estados⁴ considerados. Los datos aquí considerados corresponden al año 2008. El producto está representado por la Producción Bruta Total (PBT) en miles de pesos, la inversión mediante la Formación Bruta de Capital Fijo (FBCF) en miles de pesos, y el empleo hace referencia al personal ocupado total (PO) en las unidades económicas del sector privado y paraestatal.⁵ La fuente estadística de la que se han obtenido estas bases de datos corresponde a los censos económicos (2009) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI). La clasificación sectorial es la utilizada por el INEGI en los Censos Económicos 2009, la cual está organizada de acuerdo con el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, SCIAN, México 2007.

En el cuadro 1 se muestran los estadísticos descriptivos de los datos de producción, inversión y empleo de las entidades federativas de México.

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos

Estadísticos descriptivos	PBT	FBCF	PO
Media	140.398,1	4.642,2	2.312,8
Varianza	1.255.501.525.063,8	4.506.325.395,1	43.204.166,7

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

Debido a que los datos sobre producción, inversión y empleo corresponden a entidades federativas heterogéneas, es necesario realizar una transformación de ellos para obtener información que sea comparable entre sí y poder caracterizar el comportamiento de las variables involucradas en el estudio. Sobre ello existe consenso en utilizar magnitudes adimensionales que se obtienen por relativización. En este apartado se sigue el método más empleado que permite comparar entre las entidades federativas los niveles de producción, inversión y empleo.

El contexto que subyace a este método es que se toma como referencia la entidad federativa con mejores dotaciones en el año de observación, la cual adquiere el valor unitario o, en términos porcentuales, el 100%, lo que lleva a construir una base de datos que

recoge la información sobre estas dotaciones y elimina, al mismo tiempo, el problema de las distintas unidades en las que están expresadas las variables observables, consiguiendo relativizarlas de manera homogénea. La representación matemática del proceso de relativización se lleva a cabo de la siguiente manera:

$$S_{ij} = (d_{ij}/d_{max})$$

donde d_{ij} es la dotación relacionada con la entidad en análisis para la categoría i en la entidad j ; d_{max} es la dotación relacionada con la entidad federativa mejor equipada para la categoría i ; S_{ij} es el dato relativizado para la entidad j y la categoría i .⁶ Así, con esta información es posible establecer tres estratos siguiendo la metodología de igualdad de intervalos implantado por el Sistema de Información Geográfica,⁷ (SIG) y que se presenta en las siguientes tablas.

El cuadro 2 permite observar que, en lo que respecta a la producción bruta total, 29 entidades federativas cuentan con niveles de

Cuadro 2. Producción Bruta Total: Estratos, año 2008

Estrato bajo	Rango
Tlaxcala, San Luis Potosí, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Querétaro de Arteaga, Chihuahua, Puebla, Hidalgo, México, Guanajuato, Morelos, Nuevo León, Quintana Roo, Coahuila de Zaragoza, Oaxaca, Michoacán de Ocampo, Colima, Chiapas, Guerrero, Nayarit, Campeche, Veracruz, Jalisco, Tabasco, Yucatán, Tamaulipas, Baja California Norte, Baja California Sur,	0,00-0,33
Estrato medio	0,33-0,667
Estrato alto Sinaloa, Sonora.	0,667-1

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

producción bajo en el sector agropecuario y solamente los estados de Sinaloa y Sonora muestran niveles de producción alto en este sector.

En la figura 1 permite observar la estratificación de los niveles de producción que, como se presentó en el cuadro 1, son únicamente dos entidades federativas las que se encuentran en el estrato alto, quedando las restantes 29 en el estrato bajo.

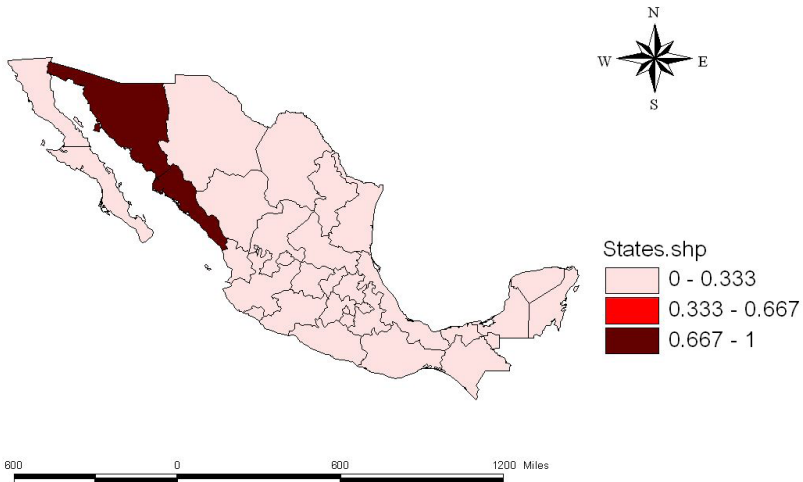


Figura 1. Producción Bruta Total, año 200. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

En lo que respecta a la inversión, se identifica que únicamente el estado de Sonora cuenta con niveles de inversión alta, en tanto que el estado de Jalisco cuenta con un nivel de inversión intermedio y, el resto, con niveles bajos de inversión en el sector agropecuario. El cuadro 3 permite ver esta información.

Cuadro 3. Formación Bruta de Capital Fijo: Estratos, año 2008

Estrato	Rango
Estrato bajo Aguascalientes, Puebla, San Luis Potosí, Nuevo León, Durango, Zacatecas, Coahuila De Zaragoza, Colima, Chihuahua, Guanajuato, Querétaro de Arteaga, Tlaxcala, Hidalgo, México, Oaxaca, Tabasco, Yucatán, Morelos, Chiapas, Quintana Roo, Tamaulipas, Nayarit, Veracruz, Guerrero, Michoacán de Ocampo, Campeche, Baja California Norte, Sinaloa, Baja California Sur.	0,00-0,33
Estrato medio Jalisco	0,33-0,667
Estrato alto Sonora	0,667-1

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

En la figura 2 muestra que las entidades federativas con niveles de inversión alto y medio son los Estados de Sonora y Jalisco, respectivamente. Los demás estados presentan niveles bajos de inversión.

Continuando con el análisis de los datos, se identifica el estado de Sinaloa como el que más personal ocupa en el sector agropecuario y, tomando éste como referencia, se identifican ocho entidades federativas con un nivel de personal ocupado medio, en tanto que las 22 entidades restantes se ubican con un nivel bajo de personal ocupado en el sector. El cuadro 4 permite ver esta información.

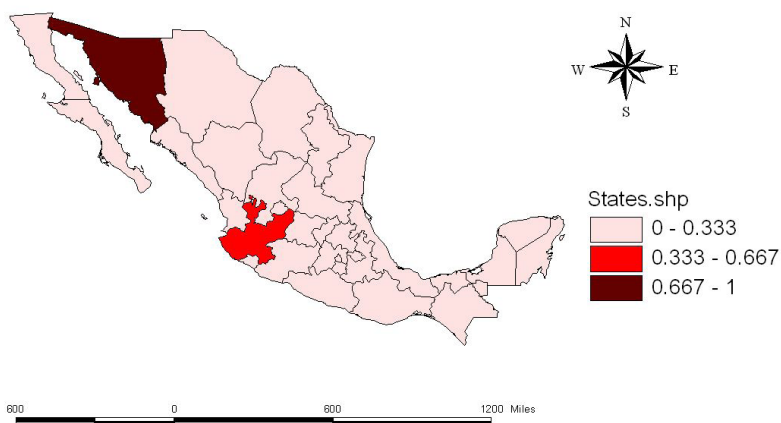


Figura 2. Formación Bruta de Capital Fijo, año 2008. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI

Cuadro 4. Personal Ocupado: Estratos, año 2008

Estrato bajo	Rango
Aguascalientes, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí, Querétaro de Arteaga, Durango, Puebla, Coahuila De Zaragoza, Chihuahua, Tlaxcala, Guanajuato, México, Hidalgo, Quintana Roo, Morelos, Colima, Baja California Norte, Jalisco, Campeche, Tamaulipas, Nayarit, Michoacán de Ocampo,.	0,00-0,33
Estrato medio	
Oaxaca, Yucatán, Baja California Sur, Chiapas, Tabasco, Guerrero, Veracruz, Sonora.	0,33-0,667
Estrato alto	
Sinaloa.	0,667-1

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

Finalmente, el análisis de la información sobre el personal ocupado permite identificar en la figura 3 la distribución del personal ocupado del sector 11, en donde se aprecia que en el sureste y noreste del país es donde hay mayor población ocupada en este sector. A partir de la información analizada, se identifica que los estados de Sinaloa y Sonora son los líderes en el sector respecto a las variables consideradas en este estudio.

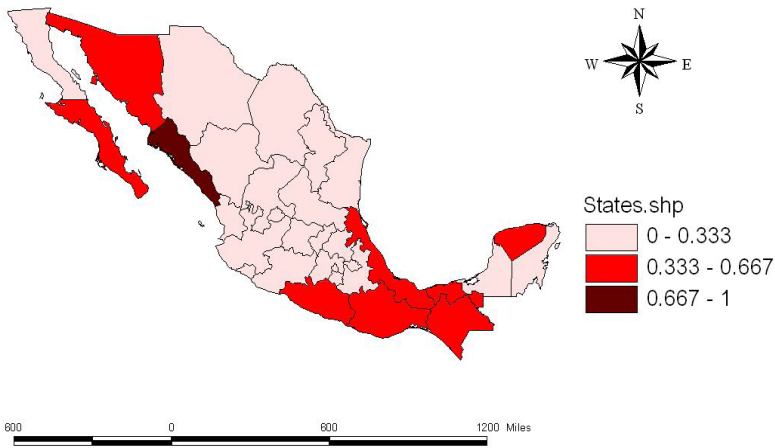


Figura 3. Personal Ocupado, año 2008. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

A partir de esta clasificación sectorial antes referida, y de la aplicación de las ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3, se obtuvo la eficiencia técnica del sector agropecuario de las entidades federativas que a continuación se presenta.

4. Resultados

Derivado de la obtención de los cocientes de insumos a producto que se presentan en el anexo A-2, y que corresponden a la expresión (2.1), se construye una frontera de máxima producción con los factores productivos disponibles (capital y empleo) para el sector agropecuario de los estados de México para el año 2008. Igualmente, se determina

la frontera tecnológica y la posición de los estados respecto a ésta, que se muestra en la figura 4; la posición es determinada por los estados de Aguascalientes y Nuevo León. Cabe resaltar que el estado de Tlaxcala es el que presenta la posición más desfavorable respecto a la frontera de producción eficiente.

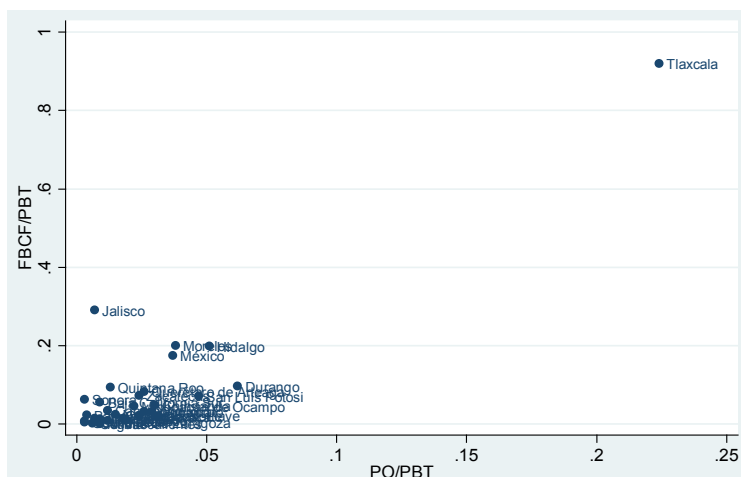


Figura 4. Frontera de producción agropecuaria eficiente, año 2008. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

Siguiendo la metodología descrita con anterioridad,⁸ el cálculo de la eficiencia técnica se ha llevado a cabo mediante el uso del software DEAP⁹ (2.1.), que se basa en el método de estimación de múltiples etapas para la resolución de modelos AED descrito en Coelli (1998).

Derivado de las ecuaciones (2.1.) y (2.2.) se determinaron las eficiencias técnica y de escala. Si una UD es eficiente en el sentido de rendimientos constantes de escala, RCE, entonces será eficiente tanto a escala como técnicamente, por lo que su eficiencia de escala será igual a uno. Así, el cuadro 5 muestra que estados como Aguascalientes y Nuevo León son eficientes en el sentido de RCE.

Cuadro 5. Eficiencia en sentido RCE

Entidad federativa	Eficiencia técnica RCE	Escala: EF=RCE/RVE
Aguascalientes	1	1
Coahuila de Zaragoza	1	1
Colima	1	1
Nuevo León	1	1

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

Para conocer si la ineficiencia de una UD es debido a que está operando en el área de rendimientos decrecientes a escala (RDE), o en el área de rendimientos crecientes a escala (RCE) debe sustituirse la restricción $e^T\lambda=1$ por $e^T\lambda\leq 1$ en la ecuación (2.2.), que no permite rendimientos crecientes a escala. De esta manera si el valor obtenido al ejecutar esta formulación (ecuación 2.3.) es igual a los rendimientos variables a escala (RVE) significa que la UD está operando en el tramo de la curva de rendimientos decrecientes a escala. Si son distintos, significa que está operando en el tramo de rendimientos crecientes a escala. Por supuesto, las UD's con $RVE=RCE$ tienen la escala óptima. Así, el cuadro 6

Cuadro 6. Entidades federativas con rendimientos decrecientes a escala en el sector agropecuario

Baja California Norte	Nayarit
Baja California Sur	Oaxaca
Campeche	Querétaro de Arteaga
Chiapas	Quintana Roo
Chihuahua	Sinaloa
Guanajuato	Sonora
Guerrero	Tabasco
Hidalgo	Tamaulipas
Jalisco	Tlaxcala
México	Veracruz-Llave
Michoacán de Ocampo	Yucatán
Morelos	Zacatecas

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

permite observar que 24 entidades federativas operan en un esquema de rendimientos decrecientes a escala en el sector agropecuario,¹⁰ entre ellos, los de la Península de Baja California y los del sureste de México.

Por su parte, los estados de Puebla y San Luís Potosí operan bajo rendimientos crecientes a escala. Asimismo el cuadro 7 muestra los niveles de eficiencia técnica estatal de México bajo RCE y RVE, derivados de las ecuaciones (2.1), (2.2) y (2.3).

En este sector, la eficiencia técnica promedio de las entidades federativas bajo RVE es de 0,49, lo que indica que aún se puede expandir la producción haciendo un mejor uso de los factores productivos dado que este análisis es de orientación al producto.

En economías como la mexicana, en donde pueden existir imperfecciones en el mercado y restricciones financieras para acceso al capital, y de manera particular en el sector que se analiza, las UD's dejan de operar en escala óptima por lo que la eficiencia técnica con rendimientos variables a escala permite identificar las entidades federativas que realizan las mejores prácticas y, a partir de ellas, determinar la eficiencia de las demás. En el cuadro 8 se identifican los estados más eficientes, es decir, los que cuentan con un valor de uno: Aguascalientes, Nuevo León y Baja California, entre otros. El cuadro 8 muestra las entidades federativas eficientes en sentido RVE.

Así, el cuadro 8 ha permitido identificar las entidades federativas más eficientes en el sector agropecuario de México, es decir, aquellas que están realizando las mejores prácticas relacionadas al uso del capital y empleo. Sin embargo, la eficiencia técnica promedio es muy baja, y existen estados con un nivel de eficiencia muy bajo.

Para mostrar los niveles de eficiencia técnica en el sentido RVE de las entidades federativas se definen tres estratos: bajo, medio y alto atendiendo a la metodología de igualdad de intervalos implementado por el SIG. La figura 5 permite observar cómo se distribuye el uso de los factores capital y empleo del sector agropecuario de las entidades federativas del país. Éste muestra cómo se distribuyen los grupos de entidades federativas en términos de eficiencia técnica del sector agropecuario en México e identifica que los estados de la franja centro-

Cuadro 7. Eficiencia técnica: rendimientos constantes y variables a escala

Entidades federativas	ETRCE	ETRVE
Aguascalientes	1,00	1,00
Baja California Norte	0,69	1,00
Baja California Sur	0,29	0,53
Campeche	0,23	0,48
Chiapas	0,18	0,47
Chihuahua	0,10	0,10
Coahuila de Zaragoza	1,00	1,00
Colima	1,00	1,00
Durango	0,05	0,05
Guanajuato	0,13	0,16
Guerrero	0,13	0,36
Hidalgo	0,05	0,08
Jalisco	0,41	0,49
México	0,07	0,10
Michoacán de Ocampo	0,13	0,28
Morelos	0,07	0,10
Nayarit	0,20	0,44
Nuevo León	1,00	1,00
Oaxaca	0,16	0,40
Puebla	0,24	0,24
Querétaro de Arteaga	0,11	0,12
Quintana Roo	0,21	0,27
San Luís Potosí	0,06	0,07
Sinaloa	0,42	1,00
Sonora	0,82	1,00
Tabasco	0,28	0,89
Tamaulipas	0,34	0,79
Tlaxcala	0,01	0,01
Veracruz-Llave	0,17	0,53
Yucatán	0,39	1,00
Zacatecas	0,11	0,11
Media	0,32	0,49

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

Cuadro 8. Entidades federativas con eficiencia técnica en sentido RVE

Entidad Federativa	Eficiencia técnica VRS
Aguascalientes	1,00
Baja California Norte	1,00
Coahuila De Zaragoza	1,00
Colima	1,00
Nuevo León	1,00
Sinaloa	1,00
Sonora	1,00
Yucatán	1,00

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

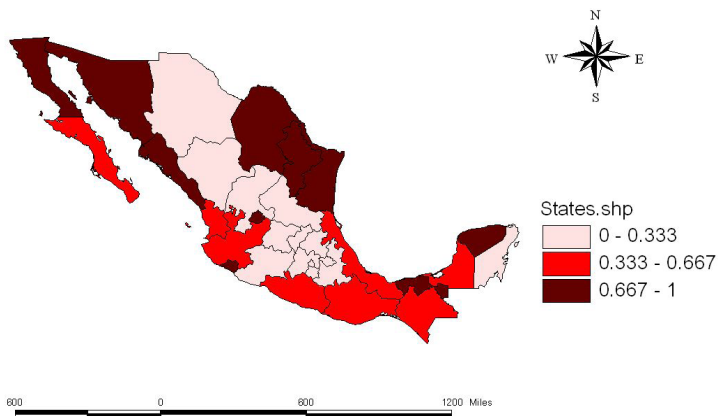


Figura 5. Eficiencia técnica en sentido de RVE de las entidades federativas de México 2008. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

norte del país tienen un bajo nivel de eficiencia por lo que éstos tienen mayores posibilidades de mejorar en el uso de sus insumos productivos.

La clasificación en tres estratos permite establecer grupos de entidades federativas atendiendo a sus niveles de eficiencia. A partir de ello es posible identificar que 18 estados del país se encuentran en los niveles bajo y medio de eficiencia técnica. El cuadro 9 muestra estas

entidades y el grupo al que pertenecen. Entidades como Colima, Nuevo León y Sinaloa pertenecen al estrato de estados más eficiente.

Asimismo, en el Cuadro 9 se observa que 10 estados se encuentran en el rango alto de eficiencia técnica y son los que están realizando las mejores prácticas en el uso de sus factores productivos. De éstos, como se observó en el Cuadro 8, ocho son los que se caracterizan por su eficiencia técnica total por lo que las otras 23 entidades federativas pueden mejorar haciendo un mejor uso de sus factores, capital y empleo.

Cuadro 9. Eficiencia técnica RVE: Estratos

	Rango
Estrato bajo Tlaxcala, Durango, San Luis Potosí, Hidalgo, México, Morelos, Chihuahua, Zacatecas, Querétaro de Arteaga, Guanajuato, Puebla, Quintana Roo, Michoacán de Ocampo	0,0-0,33
Estrato medio Guerrero, Oaxaca, Nayarit, Chiapas, Campeche, Jalisco, Veracruz, Baja California Sur	0,333-0,667
Estrato alto Tamaulipas, Tabasco, Aguascalientes, Nuevo León, Coahuila de Zaragoza, Colima, Baja California Norte, Yucatán, Sonora, Sinaloa	0,667-1

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

Así, este estudio ha permitido identificar las entidades federativas que cuentan con mayores niveles de producción, de inversión y empleo y, a partir de ellas, poder identificar los niveles de las demás; asimismo, ha permitido calcular el nivel de eficiencia técnica en el que opera el sector agropecuario de las 31 entidades federativas consideradas y poder estratificar cómo se está llevando a cabo el uso de sus factores privados. Ello ha permitido obtener algunas conclusiones que se presentan a continuación.

5. Conclusiones

La disponibilidad de información sobre producción, inversión, empleo del sector agropecuario de las entidades federativas de México y la

utilización de técnicas de análisis de frontera no paramétrica a través del análisis envolvente de datos ha ofrecido la posibilidad de calcular la eficiencia técnica sectorial de este país.

El análisis de la información sobre producción, inversión y empleo permite identificar que los estados de Sinaloa y Sonora son los líderes en el sector. Por los resultados obtenidos, se identifica que los estados de Aguascalientes y Nuevo León son los que determinan la frontera tecnológica del sector agropecuario en este país. Igualmente, se han identificado las entidades federativas que operan con eficiencias a escala y bajo rendimientos crecientes y decrecientes así como la eficiencia técnica bajo estas condiciones. Así, los estados de Aguascalientes, Coahuila, Colima y Nuevo León son eficientes en el sentido de RCE, en tanto que 24 entidades federativas están operando en el segmento de rendimientos decrecientes a escala. Por su parte, Puebla y San Luis Potosí son estados que se encuentran produciendo en el segmento de rendimientos crecientes a escala. Bajo RVE, ocho son los estados que operan eficientemente, entre ellos Aguascalientes, Nuevo León y Yucatán. A nivel sectorial, la eficiencia técnica promedio es de 0,49, lo que indica que aún es posible expandir la producción haciendo un mejor uso de los factores productivos.

A la luz de estos resultados es posible expresar la necesidad de la incorporación de innovaciones en los procesos productivos, al tiempo que no se deben dejar de lado aspectos relacionados con el mejor uso de los insumos capital y empleo para expandir la producción sectorial en México.

Derivado de este estudio, se observa que es importante buscar mecanismos y acciones de política económica que promuevan un mejor uso de los factores. Esto podría ser posible a través del fortalecimiento de los programas de apoyo al sector, así como de la capacitación y adiestramiento para el trabajo acordes a los requerimientos y vocación productiva sectorial y estatal, así como a través de la implantación de políticas encaminadas a dar respuesta a las necesidades del sector productivo contemporáneo. Así, es importante considerar la importancia de la inversión, la innovación, las políticas públicas y las acciones privadas que favorezcan la eficiencia técnica a través del desarrollo de las mejores prácticas en los procesos de producción del sector agropecuario.

6. Notas

- 1 UD hace referencia a “Unidad de Decisión” que es un término más amplio que el de firma.
- 2 Equivalentemente, las medidas de eficiencia orientadas al insumo mantienen el nivel de producción constante, permitiendo calcular en qué medida es posible reducir la cantidad de insumos.
- 3 Los modelos estándar de rendimientos constantes y variables a escala que llevan a cabo el cálculo de eficiencias técnicas y de escala se desarrollan en Fare, Grosskopf y Lovell (1994).
- 4 En el caso del sector 11, los Censos Económicos 2009 no consideran el Distrito Federal por lo que, en adelante, se hará referencia a las entidades federativas, con la exclusión del Distrito Federal.
- 5 Hace referencia a UD’s que son propiedad y administradas por el Estado.
- 6 Los datos obtenidos mediante esta técnica se pueden observar en el anexo A-1.
- 7 El método de igualdad de intervalos se encuentra integrado al software Arc View, y permite a los analistas del espacio geográfico estratificar regiones atendiendo a similitudes, que en este caso son de tipo intervalo.
- 8 Para mayor detalle véase Fare, Grosskopf, Norris y Zhang (1994).
- 9 Coelli (1996).
- 10 Véase anexo A-3.

7. Referencias

- Ablanedo-Rosas, J. H., and Gemoets, L. A. (2010). “Measuring the efficiency of Mexican airports.” *Journal of Air Transport Management*, 16, 6 (November, 2010), pp. 343-345.
- Álvarez I.; O. Becerril; L. del Moral y R. Vergara (2008). “Aplicación del data envelopment analysis a la delimitación de la frontera tecnológica en México (1970-2003).” *Revista Enlaces* (CES Felipe Segundo), 8 (enero-junio, 2008), pp. 15-32.
- Banco de México (2009). *Informe anual 2008*. Consultado el 25 de mayo de 2011. Disponible (on line): <http://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-discursos/publicaciones/informes-periodicos>.

- Banker R. D.; A. Charnes, and Cooper W. W. (1984). "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis". *Management Science* 30 (September, 1984), pp. 1078-1092.
- Beeson P. E., and S. Husted (1989). "Patterns and determinants of productive efficiency in state manufacturing." *Journal of Regional Science*, 29, 1 (February 1989), pp. 15-28.
- Boisso, D.; S. Grosskopf and K. Hayes (2000). "Productivity and efficiency in the US: Effects of business cycles and public capital." *Regional Science and Urban Economics*, 30 (December 2000), pp. 663-681.
- Coelli, T. J. (1998). "A multi-stage methodology for the solution of orientated DEA models." *Operations Research Letters*, 23, 3-5 (October 1998), pp. 143-149.
- Fare R., and C. A. K. Lovell (1978). "Measuring the technical efficiency of production." *Journal of Economic Theory*, 19, 1 (October 1978), pp. 150-162.
- Farrell, M. J. (1957). "The measurement of productive efficiency." *Journal of the Royal Statistical Society*, 120, 3 (March), pp. 253-290.
- Fuentes, H. J. y L. Armenta (2006). "Las políticas públicas y la productividad: Del diagnóstico a la solución efectiva. El caso de San Mateo Atenco." *Análisis Económico*, XXI, 47 (mayo-agosto, 2006), pp. 281-306.
- Gumbau M. y J. Maudos (1996). "Eficiencia productiva sectorial en las regiones españolas: Una aproximación frontera." *Revista Española de Economía*, 13, 2 (julio-diciembre, 1996), pp. 239-260.
- Griffin, W. L. y R. T. Woodward (2011). "Determining policy-efficient management strategies in fisheries using data envelopment analysis (DEA)." *Marine Policy*, 35, 4 (July), pp. 496-507.
- Kirkham R. J., and Boussabaine A. H. (2005). "The application of data envelopment analysis for performance measurement of the UK national health service state portfolio." *Conference Proceedings*, QUT Research Week 2005, 4-5 July 2005, Australia.
- Krüger J., Cantner U., & Hanusch H. (2000). "Total factor productivity, the East Asian Miracle, and the world production frontier." *Review of World Economics*, 136, 1, (January-March, 2000), pp. 111-136.
- Lanteri, L. N. (2002). *Productividad, desarrollo tecnológico y eficiencia. La propuesta de los índices Malmquist*. Trabajo presentando en la XXXVII Reunión de la Asociación Argentina de Economía Política, Tucumán.

- Lucía Alberto, C. (2007). *Comparación de la eficiencia técnica de las universidades públicas en Argentina*. Trabajo presentado en el II Congreso Nacional y I Encuentro Latinoamericano de estudios comparados en educación, Buenos Aires, 14 al 16 de junio, 19 pp.
- Lynde C., and Richmond J. (1999). "Productivity and efficiency in the UK: A time series application of DEA." *Economic Modelling*, 16, 1 (January 1999), pp. 105-122.
- Mahallati Rayeni, Mohamand, and Faranah Hosseinzadek Saljooghi (2010). "Network data envelopment analysis model for estimating efficiency and productivity in universities." *Journal of Computer Science*, 6, 11 (November 2010), pp. 1235-1240.
- Maudos J.; J. M. Pastor, and L. Serrano (1998). *Human capital in OECD countries: Technical change, efficiency and productivity*. Documento de trabajo WP-EC-98-19. Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas (IVIE).
- Maudos J.; J. M. Pastor and L. Serrano (1999). "Total factor productivity measurement and human capital in OECD countries." *Economic Letters*, 63, 1 (April 1999), pp. 39-44.
- Navarro, Ch. Julio César L. y Zacarías Torres Ch. (2006). "Análisis de la eficiencia técnica global mediante la metodología AED: Evidencia empírica en la industria eléctrica mexicana en su fase de distribución, 1990-2003." *Revista Nicolaita de Estudios Económicos*, 1, 1 (Noviembre, 2006), pp. 9-28.
- Nevárez A.; P. Constantino y F. García (2007). "Comparación de la eficiencia técnica de los sistemas de salud en países pertenecientes a la OMS." *Economía, Sociedad y Territorio*, VI, 24 (mayo-agosto, 2007), pp. 1071-1090.
- Peñaloza Ramos, M. C. (2006). "Evaluación de la eficiencia en instituciones hospitalarias públicas y privadas con Data Envelopment Analysis (DEA)." *Serie Archivos de Economía*. Bogotá: Dirección de Estudios Económicos, Departamento Nacional de Planeación, 39 pp.
- Salinas, M. M.; F. Pedraja y J. Salinas (2001). *Efectos del capital público y del capital humano sobre la productividad total de los factores en las regiones españolas*. Comunicación presentada en el II Encuentro de Economía Pública, España.

- Salinas-Martínez, A. M.; M. A. Amaya-Alemán; J. C. Arteaga-García; G. M. Núñez-Rocha y M. E. Garza-Elizondo (2009). "Eficiencia técnica de la atención al paciente con diabetes en el primer nivel." *Salud Pública de México*, 51, 1 (enero-febrero, 2009), pp. 48-58.
- Seiford, L. M., and Thrall R. M. (1990). "Recent developments in DEA: The mathematical programming approach to frontier analysis." *Journal of Econometrics*, 45, 1 (January-April, 1990), pp. 7-38.
- Sigler, L. A. (2004). "Aplicación del data envelopment análisis a la producción de investigación económica en la Ciudad de México: La eficiencia relativa del CIDE, COLMEX, IPN, UAM y UAM (1990-2002)." Ponencia presentada en el 4th International Symposium of Data Envelopment Analysis and Performance Management celebrado en la ciudad de Birmingham, Inglaterra.
- Villarreal, M. M. G. y R. M. Cabrera (2007). "Agrupamiento de datos para la solución del problema de optimización multicriterio." *Ciencia*, X, 2 (abril-junio, 2007), pp. 137-142.

Anexo: A-1. Relativización de la PBT, FBCF, y PO, año 2008

Entidades federativas	Relativo PBT	Relativo FBCF	Relativo PO
Aguascalientes	0,0022	0,0000	0,0040
Baja California Norte	0,1924	0,0694	0,1492
Baja California Sur	0,2039	0,1775	0,3740
Campeche	0,1137	0,0604	0,2623
Chiapas	0,0882	0,0288	0,4158
Chihuahua	0,0034	0,0026	0,0202
Coahuila De Zaragoza	0,0316	0,0022	0,0189
Colima	0,0743	0,0026	0,0908
Distrito Federal	0,0000	0,0000	0,0000
Durango	0,0013	0,0021	0,0166
Guanajuato	0,0072	0,0036	0,0375
Guerrero	0,0993	0,0495	0,5781
Hidalgo	0,0056	0,0175	0,0568
Jalisco	0,1275	0,5854	0,1669
Mexico	0,0064	0,0178	0,0471
Michoacan de Ocampo	0,0728	0,0532	0,3244
Morelos	0,0086	0,0271	0,0653
Nayarit	0,1022	0,0411	0,3021
Nuevo Leon	0,0147	0,0017	0,0078
Oaxaca	0,0564	0,0182	0,3448
Puebla	0,0048	0,0011	0,0177
Queretaro de Arteaga	0,0029	0,0038	0,0147
Quintana Roo	0,0230	0,0340	0,0595
San Luis Potosi	0,0011	0,0013	0,0108
Sinaloa	0,7332	0,1585	1,0000
Sonora	1,0000	1,0000	0,6492
Tabasco	0,1305	0,0194	0,5049
Tamaulipas	0,1648	0,0347	0,2930
Tlaxcala	0,0005	0,0073	0,0225
Veracruz-Llave	0,1266	0,0417	0,6125
Yucatan	0,1496	0,0201	0,3514
Zacatecas	0,0019	0,0022	0,0093

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

Anexo: A-2. Razones insumo/producto, año 2008

Entidad Federativa	fbck/pbt	po/pbt
Aguascalientes	0,001	0,009
Baja California Norte	0,023	0,004
Baja California Sur	0,055	0,009
Campeche	0,034	0,012
Chiapas	0,021	0,024
Chihuahua	0,049	0,030
Coahuila De Zaragoza	0,004	0,003
Colima	0,002	0,006
Durango	0,097	0,062
Guanajuato	0,032	0,026
Guerrero	0,032	0,029
Hidalgo	0,198	0,051
Jalisco	0,291	0,007
México	0,175	0,037
Michoacán de Ocampo	0,046	0,022
Morelos	0,200	0,038
Nayarit	0,025	0,015
Nuevo León	0,007	0,003
Oaxaca	0,020	0,031
Puebla	0,015	0,018
Querétaro de Arteaga	0,083	0,026
Quintana Roo	0,094	0,013
San Luis Potosi	0,071	0,047
Sinaloa	0,014	0,007
Sonora	0,063	0,003
Tabasco	0,009	0,019
Tamaulipas	0,013	0,009
Tlaxcala	0,920	0,224
Veracruz-Llave	0,021	0,024
Yucatán	0,009	0,012
Zacatecas	0,073	0,024

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

Anexo: A-3. Eficiencia técnica: RCE, RVE y de escala, año 2008

Entidades federativas	ETRC	ETRV	ESCALA	RENDIMIENTO: Creciente o decreciente a escala
Aguascalientes	1,000	1,000	1	-
Baja California Norte	0,685	1,000	0,685	rde
Baja California Sur	0,290	0,533	0,544	rde
Campeche	0,230	0,481	0,479	rde
Chiapas	1,000	1,000	1	-
Chihuahua	1,000	1,000	1	-
Coahuila De Zaragoza	0,175	0,474	0,369	rde
Colima	0,099	0,103	0,956	rde
Durango	0,048	0,048	0,997	-
Guanajuato	0,129	0,162	0,796	rde
Guerrero	0,125	0,363	0,344	rde
Hidalgo	0,053	0,077	0,684	rde
Jalisco	0,406	0,492	0,825	rde
México	0,073	0,097	0,753	rde
Michoacán de Ocampo	0,126	0,283	0,448	rde
Morelos	0,07	0,097	0,726	rde
Nayarit	0,197	0,444	0,445	rde
Nuevo León	1,000	1,000	1	-
Oaxaca	0,155	0,398	0,389	rde
Puebla	0,236	0,238	0,993	rce
Querétaro de Arteaga	0,105	0,115	0,913	rde
Quintana Roo	0,205	0,271	0,758	rde
San Luis Potosí	0,063	0,068	0,927	rce
Sinaloa	0,416	1,000	0,416	rde
Sonora	0,819	1,000	0,819	rde
Tabasco	0,282	0,891	0,317	rde
Tamaulipas	0,335	0,785	0,427	rde
Tlaxcala	0,012	0,014	0,874	rde
Veracruz-Llave	0,172	0,526	0,327	rde
Yucatán	0,388	1,000	0,388	rde
Zacatecas	0,109	0,113	0,97	rde
Media	0,323	0,486	0,696	

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.