

Influencia de adopción de tecnología y la mano de obra en la eficiencia productiva en el sector agrícola de México, 1979-2014

Influence of the adoption of technology and labor in productive efficiency in the agricultural sector of Mexico, 1979-2014

Alberto Pérez Fernández^{1*}, Ignacio Caamal Cauich¹, Verna Gricel Pat Fernández²,
David Martínez Luis³, Juventino Reza Salgado⁴

¹División de Ciencias Económico-Administrativas, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco. C. P. 56230.
Correo electrónico: albertopefe@gmail.com

²Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5 Carretera México-Texcoco.

³Facultad de Ciencias Económicas Administrativas, Universidad Autónoma del Carmen

⁴Universidad Tecnológica de Tecamachalco

*Autor de correspondencia

Resumen

El crecimiento económico implica el estudio de factores productivos: tierra, trabajo, capital, nivel educativo de la población y adopción de tecnología. La presente investigación cuantifica el efecto de los factores productivos sobre la producción agrícola en México de 1979 a 2014, mediante la estimación de una función de producción Cobb-Douglas y el Índice de Malmquist. Los resultados indican que la utilización de la superficie en riego y la mano de obra en México son las variables más importantes para el crecimiento del sector, pero su uso es ineficiente; la aplicación de fertilizantes genera rendimientos decrecientes y la eficiencia técnica disminuyó después de la entrada en vigor del Tratado de Libre comercio de América del Norte (TLCAN). La aplicación de políticas de dotación de tecnología debe ir acompañada por programas de extensionismo y asesoramiento técnico para proyectar un sector agrícola productivo y competitivo.

Palabras clave: Productividad; Cobb-Douglas; eficiencia técnica; elasticidad.

Abstract

Economic growth implies the study of productive factors: land, labor, capital, educational level of the population and technology adoption. This research quantifies the effect of production factors on agricultural production in Mexico from 1979 to 2014, by estimating a Cobb-Douglas production function and the Malmquist Index. The results indicate that the use of the surface in irrigation and labor in Mexico are the most important variables for the growth of the agricultural sector, but its use is inefficient; the application of fertilizers, diminishing returns and technical efficiency decreased after the entry into force of the North American Free Trade Agreement (NAFTA). The application of policies for the provision of technology must be accompanied by extension programs and technical advice to project a productive and competitive agricultural sector.

Keywords: Productivity; Cobb-Douglas; technical efficiency; elasticity.

Recibido: 12 de octubre de 2016

Aceptado: 10 de enero de 2019

Publicado: 08 de abril de 2019

Como citar: Pérez Fernández, A., Caamal Cauich, I., Pat Fernández, V. G., Martínez Luis, D., & Reza Salgado, J. (2019). Influencia de adopción de tecnología y la mano de obra en la eficiencia productiva en el sector agrícola de México, 1979-2014. *Acta Universitaria* 29, e1631. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2019.1631>

Introducción

El sector agrícola en México ha sido la clave para el surgimiento y desarrollo de las culturas que hoy conforman el país; sin embargo, ha sufrido reformas estructurales que, lejos de fortalecerlo y llevarlo a ser una fuente de alimentos, ingresos y empleos, lo han transformado en un sector decadente y, en ocasiones, solo con apoyos directos es rentable (Ayala, Sangerman-Jarquín, Schwentesius, Damían & Juárez, 2010). El sector agrícola ha sufrido un lento proceso de deterioro de la competitividad de su producción y sus exportaciones (Málaga & Williams, 2010). A pesar de lo anterior, este sector tiene un papel importante dentro de la economía; por ejemplo, en el 2016 se registró un total de 24 millones de mexicanos viviendo en el sector rural y, de ellos, 5.5 millones de personas mayores de 15 años se encuentran ocupadas en actividades agrícolas (Instituto Nacional de Geografía y Estadística [INEGI], 2016a).

La importancia del sector ha sido estudiada y valorada a través de los años. Sábato & Botana (1978) indicaron que la decisión de América Latina de fomentar la investigación científico-tecnológica de forma tardía la ha rezagado en su desarrollo. Pomareda & Hartwich (2006) consideran que es crucial revisar el papel que puede jugar el sector público y privado en la generación de conocimiento y en el proceso de innovación agrícola. Se ha demostrado que el cambio estructural contribuye al crecimiento de la productividad global (McMillan & Rodrik, 2011). El cambio más evidente es la adopción tecnológica como fuente del crecimiento de la productividad total de los factores (Elías, 1993), se puede dar a través de la introducción de nuevos procesos o nuevas materias primas (Antle & Capalbo, 2016), como adopción de semillas mejoradas, aplicación de fertilizantes y aumento del nivel educativo de la población agrícola (Foster & Rosenzweig, 2010).

El cambio, en el sector agrícola, se refleja en el aumento del potencial de innovación de las empresas y el desarrollo regional (Vargas, Palacios, Camacho, Aguilar & Ocampo, 2015). Por ejemplo, mediante el aumento de grandes sistemas de irrigación, se amplió la frontera agrícola durante el siglo XX (Cerutti, 2015). Actualmente, la reconversión productiva en México busca elevar la competitividad e incrementar la productividad para promover la seguridad alimentaria (Ortiz, Montes & Jiménez, 2016); para ello, la capacitación y asistencia técnica se han focalizado en la productividad como meta y en el productor como factor adoptante de la tecnología (Rendón, Roldán, Hernández & Cadena, 2015).

El uso de avances tecnológicos en la agricultura debe permitir generar mayor desarrollo para el país, además de crear bienes de consumo inmediato para alimentar a más de 114 millones de mexicanos (Consejo Nacional de Población [Conapo], 2016). También debe garantizar alimentos a los 19 millones de familias que padecían pobreza alimentaria en el año 2010 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO, por sus siglas en inglés], 2014) y 28 millones que sufren carencia por acceso a la alimentación en 2014 (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social [Coneval], 2014). Una política sectorial que contemple la adopción de nuevas tecnologías y el aumento de la capacidad productiva del campo contribuirá a resolver los problemas de alimentación del país.

La importancia del desarrollo agrícola ha sido parte de estudios en diferentes países. En Etiopía se reafirma que las políticas permiten reducir la pobreza mediante una correcta intervención de programas para fomentar la productividad agrícola (Abro, Alemu & Hanjra, 2014); en Uganda, la retención o los avances graduales en el desarrollo de la tecnología depende de la experiencia que

tengan los productores en las primeras etapas para aprobar o desechar la adopción de tecnologías agrícolas (Ainembabazi & Mugisha, 2014).

Aunado a los problemas de pobreza y alimentación, la aparición de los biocombustibles como una fuente potencial de energía alternativa exige una mayor productividad del sector agrícola (Alejos & Calvo, 2015). Por ejemplo, estudios muestran que el sorgo puede ser utilizado para generar combustible líquido (Chuck-Hernández, Pérez-Carrillo, Heredia-Olea & Serna-Saldívar, 2011). Otros cultivos como el maíz, caña de azúcar, piña, manzana, uva (Zamora-Hernández, Prado-Fuentes, Capataz-Tafur, Barrera-Figueroa & Peña-Castro, 2014), y cualquier producto cuyo contenido de azúcar y almidón es suficiente para producir bioetanol, obligan a los productores a ser más eficientes y a aumentar su producción para satisfacer la creciente demanda de estos productos.

A partir de 1980, el sector agrícola se visualiza como fuente de materia prima para la producción de combustibles biológicos, generando mucha controversia en la sociedad. Existen opiniones que consideran que los efectos aún no se pueden medir con exactitud por el incremento en el uso de pesticidas, herbicidas y fertilizantes para incrementar la productividad en los cultivos (Filoso *et al.*, 2015); y es que los efectos ambientales negativos ocasionados durante el proceso de cultivo y producción superan los beneficios de la reducción de emisiones contaminantes, aspectos que se deben cuidar al momento de hacer la producción de alimentos para la población (Valdés-Rodríguez & Palacios-Wassenar, 2016). Otras posturas consideran que la diversificación del sector agrícola apoyará su crecimiento y el crecimiento de los sectores que dependen de él; se considera que los nuevos usos de los cultivos pueden generar mayor crecimiento en el campo y con ello mejores ingresos y mayor empleo en el sector (Alejos & Calvo, 2015).

En 2016, se estimó que el número de personas subnutridas era de 815 millones (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola [FIDA], Organización Mundial de la Salud [OMS], Programa Mundial de Alimentos [PMA] y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF], 2017) y si la producción agrícola se destina para fines no alimenticios, se pueden generar crisis alimentarias como la iniciada en 2008, la cual se generó por una disminución de la producción debido a las sequías y por las políticas del sistema económico (Przeworski, 2011). Esta crisis provocó una burbuja especulativa en los futuros de *commodities* (Rubio, 2008). El incremento en precios disminuye la capacidad adquisitiva de la sociedad y, por lo tanto, en su nivel de vida.

Las nuevas tendencias en el mercado mundial han originado cambios políticos y económicos en México; sin embargo, el desarrollo propuesto no se ha alcanzado. El sector primario muestra rezagos en productividad, conllevando a bajos niveles de desarrollo y dinamismo. El objetivo de esta investigación fue cuantificar las variables que coadyuvan al crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) del sector agrícola (superficie sembrada bajo riego, aplicación de fertilizantes, mano de obra y total de tractores disponibles para la producción) mediante una función tipo Cobb-Douglas. La existencia de tecnología no implica necesariamente que se adopte y aplique eficientemente, este aspecto es medido utilizando el Índice de Malmquist, el cual permitió cuantificar la eficiencia técnica en el uso de la tecnología existente en el campo mexicano. Otras variables como política basada en subsidios, crédito, efecto del precio de materias primas e insumos indirectos no se estudian en este trabajo debido a la falta de información seriada para el periodo seleccionado. La teoría económica clásica y la historia del país responden parcialmente al objetivo planteado en la investigación; sin

embargo, el interés del estudio recae en la cuantificación y la eficiencia técnica con la cual son aplicados los recursos tecnológicos en el país.

La utilización de la producción agrícola para generar biocombustibles y la carencia de alimentos de una parte importante de la población hacen indispensable el estudio de la productividad y eficiencia del sector agrícola en México. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación es cuantificar la relación entre los factores productivos (superficie sembrada bajo riego, aplicación de fertilizantes, mano de obra y total de tractores disponibles para la producción) y la producción agrícola. Los resultados de este estudio permitirán determinar si el sector agrícola en México es capaz de crecer y hacer frente a los nuevos retos que enfrenta el sector alimentario mundial. Al determinar la eficiencia de la producción, se podrán identificar los factores productivos que requieren mayor atención por parte de la política agrícola en el país y, de esta forma, contribuir en el crecimiento de este sector.

La relación insumos-producto se cuantifica con una función de producción Cobb-Douglas; sin embargo, la existencia de tecnología no implica necesariamente que se adopte y aplique eficientemente. La eficiencia técnica en el uso de la tecnología existente en el campo mexicano se determinó mediante el índice de Malmquist. A partir de lo anterior, se podrá observar la necesidad de prestar más atención a la asesoría técnica proporcionada a los productores para que puedan adoptar las nuevas tecnologías que se desarrollan.

Materiales y Métodos

La presente investigación tiene como base la teoría de crecimiento, la cual estudia el comportamiento de la economía a largo plazo, considerando la teoría de Solow (1957) en la cual incorporó por primera vez el papel de la tecnología en una función de producción. Otros autores se basan en el modelo de Solow para medir la relación entre los factores productivos (tierra, trabajo y capital) sobre la producción (Dedrick, Kraemer & Shih, 2013; Delfín & Navarro, 2015; Díaz, 2017; Posada, 2017).

Se utilizaron datos correspondientes al periodo comprendido entre 1979 y 2014, se conformó la base de datos para el sector agrícola de México, considerando información generada por organismos nacionales e internacionales que se describen a continuación.

La información relacionada con el PIB agrícola y uso de fertilizantes se obtuvieron de la sección de estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2014).

El nivel productivo de México medido en toneladas totales y en valor monetario, el total de hectáreas sembradas bajo la modalidad de riego y temporal fueron obtenidas del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2016), la cual tiene la característica de permitir conocer la capacidad productiva real y potencial del país.

La población económicamente activa del sector agrícola se generó a partir de bases del INEGI (2016b) y el Conapo (2016).

Las variables empleadas para el modelo econométrico se indican en la siguiente función (ecuación 1):

$$Q = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (1)$$

donde: Q son unidades físicas de producto final obtenidas y $X_1 \dots X_n$ son las cantidades de los recursos productivos empleados.

Para la selección de las variables que tienen mayor efecto en la producción se consideró la probabilidad de t ($Pr > |t|$) y un alfa de 0.05%; las variables iniciales para integrar el modelo lineal (ecuación 2), son las que se muestran en la tabla 1:

Tabla 1. Variables del modelo lineal de la productividad del PIB agrícola de México, 1979-2014.

Variable	Significado
PIBa	Producto interno bruto agrícola (a precios constantes 2006).
X_1	Hectáreas irrigadas cultivadas totales (ha)
X_2	Hectáreas cultivadas totales (ha)
X_3	Población económicamente activa sectorial (millones de personas)
X_4	Toneladas de fertilizantes aplicados en toneladas equivalentes de nitrógeno (t)
X_5	Cantidad total de tractores empleados (millones de unidades).

Fuente: Elaboración propia.

$$PIBa = f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5) \quad (2)$$

En la siguiente etapa se estructuró y estimó el modelo econométrico para obtener los indicadores explicativos del comportamiento del sector agrícola de México. Se utilizó el programa *Statistical Analysis System*® (SAS) versión 8, adecuando para ello las variables a precios constantes de 2006 e identificadas para el periodo de 1979 a 2014.

El modelo logarítmico final se generó considerando la siguiente forma (ecuación 3) e integrando el modelo por las variables y estimadores que se indican en la tabla 2.

Tabla 2. Variables del modelo logarítmico del PIB agrícola de México, 1979-2014.

Variable	Significado
Y	Producto Interno Bruto agrícola
a	Término independiente (Factor total de la productividad)
b	Elasticidad de la producción con respecto a superficie de riego.
c	Elasticidad de la producción con respecto a población económicamente activa del sector agrícola.
d	Elasticidad de la producción con respecto a la aplicación de fertilizantes.
X_1	Superficie en producción bajo sistema de riego (ha).
X_3	Población económicamente activa del sector agrícola (millones).
X_4	Cantidad de fertilizantes aplicados a la producción (t).

Fuente: Elaboración propia

$$\ln(Y) = \ln(a) + b \ln(X_1) + c \ln(X_3) + d \ln(X_4) \quad (3)$$

Los resultados de los valores obtenidos en el programa SAS fueron empleados para generar la función tipo Cobb-Douglas, la cual considera como base los trabajos de Cobb & Douglas (1928) y considera las variables que se presentan en la tabla 3, y se representó de la siguiente forma (ecuación 4):

$$Y = A * X_1^b * X_3^c * X_4^d \quad (4)$$

Tabla 3. Variables del modelo tipo Cobb-Douglas para el PIB agrícola de México, 1979-2014.

Variable	Significado
A	Factor total de productividad
b	Elasticidad de la producción con respecto a superficie de riego
c	Elasticidad de la producción con respecto a población económicamente activa del sector agrícola.
d	Elasticidad de la producción con respecto a la aplicación de fertilizantes.
X ₁	Superficie en producción bajo sistema de riego (ha).
X ₃	Población económicamente activa del sector agrícola (millones).
X ₄	Cantidad de fertilizantes aplicados a la producción (t).

Fuente: Elaboración propia

Para realizar la comparación de la eficiencia productiva del sector agrícola antes y después de la entrada en vigor del TLCAN, se estimó el índice de productividad de Malmquist mediante el Análisis Envolvente de Datos (DEA, por sus siglas en inglés). El DEA es una técnica de programación matemática no paramétrica que permite calcular la eficiencia en la relación funcional entre *inputs* y *outputs* (Coria, 2011). Este método propuesto por Charnes, Cooper & Rhodes (1978) es utilizado para medir la productividad y eficiencia en diferentes sectores de la economía (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 1997; Delfín & Navarro, 2015; Inglada, Coto-Millán & Inglada-Pérez, 2017) y en diferentes puntos en el tiempo (Martínez-Damián, Brambila-Paz & García-Mata, 2013). El cálculo del índice de Malmquist inicia con la definición de las funciones de distancia con respecto a los dos periodos a analizar (ecuación 5).

$$D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}) = \inf\{\theta: (x^{t+1}, y^{t+1} / \theta) \in S^t\} \quad (5)$$

Estas funciones de distancia miden el cambio proporcional máximo en el producto necesario para hacer factible (x^{t+1}, y^{t+1}) en relación con la tecnología en el periodo t (Färe, Grosskopf, Norris & Zhang, 1994) (ecuación 6).

$$m_o(y_{t+1}, x_{t+1}, y_t, x_t) = \left[\frac{d_0^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_0^t(x_t, y_t)} * \frac{d_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_0^{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{1/2} \quad (6)$$

Una forma equivalente de representar el índice es la siguiente:

$$M_0(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)} * \sqrt{\frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} * \frac{D_0^t(x^t, y^t)}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)}} \quad (7)$$

En esta ecuación se pueden observar dos partes que son esenciales para comprender el índice de Malmquist. La primera parte mide el cambio en la eficiencia relativa entre el periodo t y periodo $t+1$, esto permite establecer qué tan cercana está la producción a la frontera de producción (*catching up*), mientras que el término de la raíz cuadrada mide los cambios tecnológicos entre los dos periodos (Färe *et al.*, 1994). Si no hay cambio tecnológico, entonces $M_0 = 1$ (Lanteri, 2002). El desarrollo tecnológico muestra los incrementos del producto que podría lograrse del año t al año $t+1$ sin alterar las cantidades de los insumos a emplear, eso solo puede ocurrir por la introducción de nuevas técnicas de producción (Piesse & Thirtle, 1997) (ecuación 8 y 9).

$$\text{Cambio en la Eficiencia} = \frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)} \quad (8)$$

$$\text{Cambio tecnológico} = \left[\frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} * \frac{D_0^t(x^t, y^t)}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2} \quad (9)$$

Este índice representa la productividad de un punto $[(x)_{(t+1)}, y_{(t+1)}]$ relativo al último punto de la producción (x_t, y_t) . Un valor mayor a la unidad indica un crecimiento positivo en la productividad total de los factores de los periodos analizados. Considerando que los índices de Malmquist son una media geométrica de los dos periodos, se calcularon cuatro componentes de la función distancia, las cuales consideraron cuatro problemas de programación lineal, si se considera que la tecnología es con crecimientos constantes a escala (Coelli, 1996). Fue necesario especificar de la siguiente forma:

$$[d_0^t(x_t, y_t)]^{-1} = \max_{\phi, \lambda} \phi, \quad (10)$$

$$st -\phi y_{it} + Y_t \lambda \geq 0,$$

$$x_{it} - X_t \lambda \geq 0,$$

$$\lambda \geq 0$$

Los tres problemas de programación lineal son variantes en esta ecuación, de acuerdo con Coelli (1996) son los que se muestran en las ecuaciones 11, 12 y 13:

$$[d_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})]^{-1} = \max_{\phi, \lambda} \phi, \quad (11)$$

$$st \quad -\phi y_{i,t+1} + Y_{t+1} \lambda \geq 0,$$

$$x_{i,t+1} - X_{t+1} \lambda \geq 0,$$

$$\lambda \geq 0$$

$$[d_0^t(x_{t+1}, y_{t+1})]^{-1} = \max_{\phi, \lambda} \phi, \quad (12)$$

$$st \quad -\phi y_{i,t+1} + Y_t \lambda \geq 0,$$

$$x_{i,t+1} - X_t \lambda \geq 0,$$

$$\lambda \geq 0$$

$$[d_0^{t+1}(x_t, y_t)]^{-1} = \max_{\phi, \lambda} \phi, \quad (13)$$

$$st \quad -\phi y_{it} + Y_{t+1} \lambda \geq 0,$$

$$x_{it} - X_{t+1} \lambda \geq 0,$$

$$\lambda \geq 0$$

Al obtener los valores para la ecuación, todos los que sean mayores a la unidad representan cambios o crecimientos positivos en el PIB agrícola, de lo contrario señalarán decrecimiento o estancamiento en la producción agrícola. La importancia de medir este aspecto antes y después de la entrada en vigor del TLCAN, es que México puede saber si efectivamente sus políticas enfocadas a generar un campo más productivo han surtido efecto a lo largo de la implementación de este tratado.

Resultados y Discusión

La capacidad de crecimiento del sector agropecuario es el resultado de la productividad que pueden generar los actores usando adecuadamente los insumos existentes en cada región. La relación entre variables y su efecto en el crecimiento del PIB se muestran como parte de los resultados obtenidos para esta investigación.

Los valores obtenidos indicaron que el 92% de las variaciones que ocurren en la producción del sector agrícola de México se explican por tres variables principales: superficie en producción bajo riego, población económicamente activa del sector agrícola y cantidad de fertilizantes aplicados. Los resultados obtenidos mostraron un coeficiente de determinación (R^2) de 0.92 con un intervalo de confianza de 95%, además de considerar el p -value asociado a la prueba t -student, prueba que cumplen las variables analizadas. Los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Modelo de la Función tipo Coob-Douglas para el sector agrícola de México, 1979-2014.

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr > t
--------	-------	----------------	---	---------

Intercepto	6.655	0.989	6.730	<0.0001
Riego	2.236	0.122	18.217	<0.0001
PEA	-2.274	0.183	-12.445	<0.0001
Fertilizantes	0.202	0.107	1.894	0.067

Fuente: Elaboración propia

El crecimiento del PIB agrícola (Y) aumentará en 2.236% si se aumenta en uno por ciento la superficie de riego, *ceteris paribus*. Este cambio es complicado realizarse en México debido a la orografía y a la escasez de agua en las unidades de producción del norte del país. Las mismas condiciones orográficas dificultan la introducción de nuevas tecnologías que permitan aumentar la producción en las regiones agrícolas. Aunado a lo anterior, los acuerdos de transferencia de tecnología de las instituciones mexicanas son extremadamente escasos, lo que dificulta aún más la modernización del campo (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE], 2009). La importancia del riego para la agricultura y su uso sostenible ha sido parte de diferentes estudios. De Fraiture & Giordano (2014) estudiaron la inversión en equipo de riego en predios de riego privados en países de África Subsahariana y dos estados de la India, encontrando un mejor desempeño y productividad; sin embargo, precisan la importancia de no poner en peligro la sostenibilidad de los recursos hídricos disponibles. Wichelns (2013) afirma que la inversión en equipos para extracción de agua permite a los agricultores mejorar sus ingresos por tener acceso oportuno de agua. Este comportamiento natural del proceso productivo agrícola confirma la necesidad de cuidar las fuentes de agua y proporcionar al productor la tecnología para aprovechar de manera eficiente los recursos hídricos.

La mano de obra es otro factor importante para el sector agrícola. El modelo refleja que en México existe una sobreoferta de trabajadores en el sector agrícola. Si se aumenta en uno por cierto la cantidad de población económicamente activa del sector, el PIB agrícola disminuye en 2.274 %. La opción más viable es disminuir la población en el sector agrícola y canalizarla a otras áreas donde se puede usar el potencial de los trabajadores jóvenes. Este comportamiento lo estudió Pender (2006), quien demostró que el crecimiento de la población rural impacta negativamente en el crecimiento de la agricultura y en el adecuado manejo de los recursos naturales. El resultado es categórico, considerando las condiciones de trabajo y los bajos salarios que reciben los trabajadores, quienes en su mayoría tienen una edad superior a los 40 años y una escolaridad menor a los seis años. La población en el sector agrícola se convierte en un problema y, aunque hay sectores enclave en México que funcionan con altos índices de productividad, no pueden absorber la mano de obra sobrante de la agricultura (McMillan & Rodrik, 2011).

De 1994 a 2010 la población económicamente activa del sector agrícola mostró una disminución del 9.22%, para el año 2010 fue de 8 millones (FAO-Secretaría de Agricultura y Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [Sagarpa], 2012) y en el tercer trimestre de 2017 se registraron 7 650 000 personas (INEGI, 2018). A pesar de la alta migración existente en las zonas agrícolas, la oferta de trabajo es mayor a la demanda, lo que origina una disminución de los salarios en el campo. La baja en los salarios afecta el poder adquisitivo de los habitantes debido a que los precios de los alimentos no crecen al mismo nivel que el vestido y los demás instrumentos que necesita consumir el campesino, creando un sector agrícola de subsistencia (Amin & Vergopoulos, 1977).

Con respecto al uso de fertilizantes, la elasticidad es de 0.202, lo cual significa que el PIB agrícola mostrará un incremento de 0.202% si se aumenta la aplicación de fertilizantes en uno por ciento, *ceteris paribus*. Este insumo ha sido el más empleado en la agricultura desde su aplicación en los años 40 y actualmente sigue representando un elemento clave en el sector agrícola. Los resultados consideran que la aplicación de fertilizantes se encuentra en la fase adecuada; sin embargo, la producción nacional depende del mercado internacional de este insumo, debido a que se importa el 67.1% del total (Gaucín & Torres, 2011). El alto volumen de importación se refleja en un aumento de los costos de producción, principalmente en los periodos de depreciación del peso mexicano. La aplicación de fertilizantes depende no solo de los programas de gobierno sino también de la educación y concientización de los productores. Lambrecht, Vanlauwe, Merckx & Maertens (2014) confirmaron que el uso de fertilizantes depende del capital y el nivel educativo del productor. Gebeyehu (2016) ratifica que los fertilizantes, al igual que la aplicación de pesticidas y semillas mejoradas, han permitido aumentar el rendimiento de cultivos y la productividad del sector agrícola en países en vías de desarrollo.

Existen agentes externos como los cambios climáticos que pueden afectar los rendimientos en el sector agrícola (Ward, Florax & Flores-Lagunes, 2014) y que no han sido analizados en este estudio; sin embargo, el análisis que se realizó de la función de producción tipo Cobb-Douglas permite comprender la situación del sector agrícola, así como la influencia de cada uno de los factores que son clave para la producción. Los resultados de este trabajo confirman la importancia de los factores que se han señalado como fuente del crecimiento del sector agrícola a través de los años; no obstante, las políticas orientadas a integrar un campo más productivo y eficiente no han sido correctamente orientadas y aplicadas.

Durante el periodo 1979-1994, el cambio tecnológico mostró un valor promedio de 0.888 e incrementó a 1.362 para el segundo periodo de estudio (1995-2010), lo cual reflejó una continua apropiación de herramientas como tractores, aplicación de fertilizantes químicos, cambios del riego rodado por sistemas de goteo, por aspersión o pivote central. Estas modificaciones fueron resultado de la Revolución Verde iniciada en 1945 en Estados Unidos de América y copiada por México en las siguientes décadas, lo que reconfiguró los espacios rurales mexicanos (Pichardo, 2006). En la tabla 5 se presentan los resultados del cálculo del índice de Malmquist para el sector agrícola de México en los dos periodos estudiados.

Tabla 5. Índice de Productividad de Malmquist para México para los periodos 1979-1994 y 1995-2010.

Periodo	Cambio en la eficiencia técnica	Cambio tecnológico	Cambio en la eficiencia pura	Cambio en la eficiencia a escala	Cambio en la productividad total de los factores
1979-1994	1.012	0.888	0.996	1.016	0.899
1995-2010	0.902	1.362	1.005	0.898	1.230

Fuente: Elaboración propia

La eficiencia técnica visible para el primer periodo de estudio fue de 1.012. Después de la firma del TLCAN, los programas implementados en México buscaban impulsar la productividad y con ello la competitividad del sector agrícola; sin embargo, la adopción e importación masiva de maquinaria e insumos no implica que se utilicen en su totalidad y su efecto sea multiplicativo. Para el sector agrícola, durante el periodo 1995-2010, el cambio en la eficiencia técnica disminuyó a 0.902, lo cual indica que la adopción tecnológica no se ha aplicado de manera correcta. El gobierno mexicano establece programas para dotar de tecnología al campo, pero no implementa programas de capacitación a los productores para usar adecuadamente la tecnología y generar una alta eficiencia. La adopción de tecnología siempre fue un modelo alejado de los productores minifundistas que buscan integrarse a las nuevas tendencias del mercado (Pichardo, 2006). El grado de ineficiencia técnica de cada periodo refleja la distancia entre los periodos analizados y la frontera tecnológica del país. Los resultados coinciden en que la evolución de la productividad total de los factores del sector agrícola de México es baja (OCDE, 2011).

Estos resultados son parecidos a los encontrados por Lanteri (2002), quien analiza la economía de México durante los años 1970-1992, periodo durante el cual se logró un crecimiento positivo de 1.029, reflejado en el índice de productividad de Malmquist. Para el periodo 1991-2001, los índices no muestran cambio alguno, lo cual indica un estancamiento en el sector agrícola. La tasa anual de crecimiento sectorial para México fue cercana a 1.5 y parece mostrar una mayor volatilidad en los precios (OCDE, 2011).

La dotación de recursos al sector agrícola debe implicar relaciones con otros sectores para un mejor aprovechamiento. Fujun, Zhou, YingGang, XiangJun & JieLi (2018) confirmaron que, como en China, el proceso de mecanización de la agricultura, considerando la interacción entre gobierno-industria-universidades-centros de investigación y promoción de las innovaciones, es importante para un mayor crecimiento. Esta interacción no se ha desarrollado en México de forma conjunta, todos los eslabones importantes para el crecimiento del sector agrícola se han desarrollado de forma aislada con pocos efectos multiplicativos en la economía. Otros estudios como el de Kutsenko (2018), realizado en Polonia, indica que la agroindustria genera una difusión multivectorial que produce transformaciones organizativas, administrativas y productivas al interior del sector. Estos estudios pueden generar para México mejores políticas que le permitan usar el sector agrícola como un factor de desarrollo nacional.

Conclusiones

El sector primario de México muestra bajas tasas de crecimiento y se ha perfilado como un sector con baja competitividad y altos problemas de desarrollo. Un alto nivel productivo puede contribuir positivamente a reducir la pobreza existente en las zonas agrícolas de México si permite emplear la población económicamente activa y diversificar su producción para obtener mayores ingresos.

El estudio del sector agrícola confirma la importancia de las variables superficie en riego y la aplicación de fertilizantes como factores que tienen un efecto positivo en el crecimiento del sector; sin embargo, aunque la transferencia de tecnología aumenta, estos cambios no se reflejan en la misma proporción en el crecimiento del producto interno bruto sectorial. La adopción de tecnología no implica un uso eficiente de la misma por parte de los productores, explicado principalmente porque los pequeños productores reciben apoyos gubernamentales para adquisición de maquinaria e insumos, pero debido a las pequeñas extensiones productivas o a la escasa capacitación recibida, la

aplicación de las innovaciones no se aplica de la forma correcta. Es preciso capacitar a los agricultores mediante programas de extensionismo y asesoramiento técnico para ser más eficientes en el uso de las innovaciones agrícolas y proyectar un sector agrícola productivo y competitivo.

La población económicamente activa agrícola tiene un problema de baja productividad y eficiencia en el uso de los recursos que posee. El exceso de población no empleada en el sector agrícola genera una sobreoferta de trabajo, lo que provoca bajos salarios y migración hacia zonas urbanas de México o de Estados Unidos de América. La combinación de políticas de integración agroindustrial para absorber el exceso de población en las zonas rurales y agrícolas de México permitiría un mejor desarrollo local y una mayor capacidad competitiva del país. También es necesario que la política económica se enfoque en el desarrollo del sector industrial del país para que este sea capaz de absorber la mano de obra desplazada del campo mexicano.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por la beca otorgada para realizar esta investigación.

Referencias

- Abro, Z. A., Alemu, B. A., & Hanjra, M. A. (2014). Policies for agricultural productivity growth and poverty reduction in rural Ethiopia. *World Development*, 59(1), 461-474. doi: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.01.033>
- Ainembabazi, J. H., & Mugisha J. (2014). The role of farming experience on the adoption of agricultural technologies: evidence from smallholder farmers in Uganda. *The Journal of development studies*, 50(5), 666-679. doi: <https://doi.org/10.1080/00220388.2013.874556>
- Alejos, C., & Calvo, E. (2015). Biocombustibles de primera generación. *Revista Peruana de Química e Ingeniería química*, 18(02),19-30.
- Amin, S., & Vergopoulos, K. (1977). *La cuestión campesina y el capitalismo*. México D. F.: Editorial Nuestro Tiempo.
- Antle, J. M., & Cabalpo, S. M. (2016). An introduction to recent developments in Production Theory and Productivity Measurement. En S. M. Cabalpo, & J. M. Antle (Eds.), *Agricultural Productivity: Measurement and Explanation* (pp.17-85). NY, USA: RFF Press. doi: <https://doi.org/10.4324/9781315673318>
- Ayala, A. V., Sangerman-Jarquín, D. M., Schwentesius, R., Damían, M. A., & Juárez, C. G. (2010). Fortalecimiento de la competitividad del sector agropecuario en Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(2),233-245.
- Cerutti, M. (2015). La agriculturización del desierto. Estado, riego y agricultura en el norte de México (1925-1970). *Apuntes*, 42(77), 91-127. doi: <https://doi.org/10.21678/apuntes.77.740>
- Charnes, A., Cooper, W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operations Research*, 2(6), 429-444. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Chuck-Hernández, C., Pérez-Carrillo, E., Heredia-Olea, E., & Serna-Saldívar S. O. (2011). Sorgo como un cultivo multifacético para la producción de bioetanol en México: Tecnologías, avances y áreas de oportunidad. *Revista de Ingeniería Química*, 10(3), 529-549.
- Cobb, C. W., & Douglas, P. H. (1928). A theory of production. *The American Economic Review*, 18(1), 139-165.

- Coelli, T. J. (1996). A guide to DEAP version 2.1: A data envelopment analysis (computer) program. Centre for efficiency and productivity analysis (CEPA). Working papers. *University of New England, Australia*, 8(96), 60. Recuperado el 20 junio de 2017 de <http://www.owl.net/~econ380/DEAP.PDF>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (1997). *Productividad total de factores: revisión metodológica y una aplicación al sector manufacturero uruguayo*. Recuperado el 24 de septiembre de 2018 de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/28778/1/LCmvdR129rev2_es.pdf
- Consejo Nacional de Población (Conapo). (2016). *Datos de proyecciones de la Población 2010-2050*. Recuperado el 12 de septiembre de 2016 de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/63977/Documento_Metodologico_Proyecciones_Mexico_2010_2050.pdf
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval). (2014). *Comunicado de prensa 005: Coneval informa los resultados de la medición de la pobreza 2014*. Recuperado el 7 de octubre de 2016 de http://www.coneval.org.mx/SalaPrensa/Documents/Comunicado005_Medicion_pobreza_2014.pdf
- Coria, M. M. (2011). Eficiencia técnica de las universidades argentinas de gestión estatal. *Ensayos de Política Económica*, 5. Recuperado el 20 de febrero de 2015 de <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/revistas/eficiencia-tecnica-universidades-argentinas.pdf>
- Dedrick, J., Kraemer, K. L., & Shih, E. (2013). Information technology and productivity in developed and developing countries. *Journal of Management Information System*, 30(1), 97-122. doi: <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222300103>
- De Fraiture, C., & Giordano, M. (2014). Small private irrigation: A thriving but overlooked sector. *Agricultural Water Management*, 131(1), 167-174. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.07.005>
- Delfín, O., & Navarro, C. L. (2015). Productividad total de los factores en las terminales de contenedores en los puertos de México: una medición a través del índice de Malmquist. *Contaduría y Administración*, 60(3), 663-685. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cya.2015.05.011>
- Díaz, H. E. (2017). Tecnologías de la información y comunicación y crecimiento económico. *Economía Informa*, 405, 30-45. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecin.2017.07.002>
- Elías, V. (1993). The role of total productivity on Economic Growth. *Estudios de Economía*, 20(3), 19-47.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2014). *FAO Statistical yearbook, 2014: Latin America and the Caribbean Food and Agriculture. Regional Office for the Latin America and the Caribbean*. Recuperado el 12 de septiembre de 2016 de <http://www.fao.org/docrep/019/i3592e/i3592e.pdf>
- Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., & Zhang, Z. (1994). Productivity growth, technical progress and efficiency change in industrialized countries. *The American Economic Review*, 84(1), 66-83.
- Filoso, S., Braga, J., Mardegan, S. F., Machado, S. R., Figueiredo, T., & Martinelli, L. (2015) Reassessing the environmental impacts of sugarcane ethanol production in Brazil to help meet sustainability goals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1847-1856. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.012>
- Foster, A., & Rosenzweig, M. (2010). *Microeconomics of technology adoption*. Social Science Research of Yale University. Center discussion paper No. 984. Recuperado el 20 de marzo de 2016 de http://www.econ.yale.edu/growth_pdf/cdp984.pdf
- Fujun, W., Zhou, Y., YingGang, O., XiangJun, Z., & JieLi D. (2018). "Government-Industry-University-Research-Promotion" Collaborative innovation mechanism construction to promote the development of agricultural machinery technology. *IFAC Papers online*, 51(17), 552-559. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.147>
- Gaucín, S. D., & Torres, E. (2011). *El mercado de los fertilizantes 2011-2012*. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) Informe. Recuperado el 10 de octubre de 2016 de <http://www.infoserca.gob.mx/claridades/revistas/239especial/ca239especial-45.pdf>

- Gebeyehu, M. G. (2016). The impact of technology adoption on agricultural productivity and production risk in Ethiopia: Evidence from rural Amhara household survey. *Open Access Library Journal*, 3, e2369. doi: <http://dx.doi.org/10.4236/oalib.1102369>
- Inglada, V., Coto-Millán, P., & Inglada-Pérez, L. (2017). Evaluación de la productividad y eficiencia en los aeropuertos españoles después de la liberalización del transporte aéreo. *Journal of Public Programs and Policy Evaluation*, 9, 99-112. doi: <https://doi.org/10.5944/reppp.9.2017.17686>
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). (2016a). *Estadísticas a propósito del día del trabajador agrícola*. Comunicado institucional. Recuperado el 6 de noviembre de 2018 de http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2016/agricola2016_0.pdf
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). (2016b). *Sección estadística sobre población de México*. Recuperado el 20 de julio de 2016 de <http://cuentame.inegi.org.mx/economia/primarias/agri/default.aspx?tema=E>
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). (2018). *Sección estadística sobre ocupación*. Recuperado el 06 de noviembre de 2018 de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/BIE/CuadrosEstadisticos/GeneraCuadro.aspx?s=est&nc=597&c=25586>
- Kutsenko, I. (2018). Influence of integration on development of subjects of agrarian sector of economy. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-journal*, 4(3), 86-103.
- Lambrecht, I., Vanlauwe, B., Merckx, R., & Maertens, M. (2014). Understanding the process of agricultural technology adoption: Mineral fertilizer in Eastern DR Congo. *World Development*, 59, 132-146. doi: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.01.024>
- Lanteri, L. N. (2002). Productividad, desarrollo tecnológico y eficiencia. *La propuesta de los Índices Malmquist*. (Vol 4). Recuperado el 6 de junio de 2015 de www.aep.org.ar/anales/works/works2002/lanteri.pdf
- Málaga, J. E., & Williams, G. W. (2010). La competitividad de México en la exportación de productos agrícolas. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 27, 295-309.
- Martínez-Damián, M. A., Brambila-Paz, J. J., & García-Mata R. (2013). Índice de Malmquist y productividad estatal en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 10(3), 359-369.
- McMillan, M. S., & Rodrik, D. (2011). *Globalization, structural change and productivity growth*. (Working paper series No. 17143). The National Bureau of Economic Research. Cambridge, 54 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), Organización Mundial de la Salud (OMS), Programa Mundial de Alimentos (PMA), Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). (2017). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2017. Fomentando la resiliencia en aras de la paz y la seguridad alimentaria*. Recuperado el 7 de noviembre de 2018 de <http://www.fao.org/3/a-I7695s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)-Secretaría de Agricultura y Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa). (2012). *México: El sector agropecuario ante el desafío del cambio climático*. Recuperado el 20 de junio de 2016 de <http://www.sagarpa.gob.mx/programas2/evaluacionesExternas/Lists/Otros%20Estudios/Attachments/37/Cambio%20Climatico.pdf>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). (2011). *Análisis del extensionismo Agrícola en México*. Recuperado el 18 de enero de 2016 en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/345321/FINAL_Extension_Paper_Spanish_Version_03_Sep_2011.pdf
- Ortiz, H., Montes, M. de L., & Jiménez, A. (2016). La reconversión productiva ¿desarrollo o retroceso? *Revista Educateconciencia*, 10(11), 13-25.

- Posada, C. E. (2017). El costo de oportunidad del cambio técnico, el crecimiento económico y el caso colombiano 1925-2012. *Ensayos sobre Política Económica*, 33(77), 149-167. doi: <https://doi.org/10.1016/j.espe.2015.04.002>
- Pender, J. (2006). *Rural population growth, agricultural change and natural resource management in developing countries: A review of hypotheses and some evidence from Honduras*. En: N. Birdsall, A. C. Kelley & S. W. Sinding (Eds.). *Population matters: Demographic change, economic growth, and poverty in the developing world* (pp. 325-368). NY: Oxford University Press.
- Pichardo, B. (2006). La revolución verde en México. *Agrária, São Paulo*, 4, 40-68. doi: <https://doi.org/10.11606/issn.1808-1150.v0i4p40-68>
- Piesse, J., & Thirtle, C. (1997). Sector-level efficiency and productivity in Hungarian primary, secondary and tertiary industries, 1985-1991. *Eastern European Economics*, 35(4), 5-39. doi: <https://doi.org/10.1080/00128775.1997.11648628>
- Pomareda, C., & Hartwich, F. (2006). Innovación agrícola en América Latina: comprendiendo el papel del sector privado. Issue briefs 42 SP, *International Food Policy Research Institute*, 42. Recuperado el 24 de septiembre de 2018 en <https://ideas.repec.org/p/fpr/issbrf/42sp.html>
- Przeworski, A. (2011). Acerca del diseño del Estado: una perspectiva principal-agente. En C. H. Acuña (Comp.). *Lecturas sobre el Estado y las políticas públicas: retomando el debate de ayer para fortalecer el actual*. (pp 143-168). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Editor Jefatura de Gabinete de Ministros de la Nación.
- Rendón, R., Roldán, E., Hernández, B., & Cadena, P. (2015). Los procesos de extensión rural en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(1), 151-161. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i1.746>
- Rubio, B. (2008). De la crisis hegemónica y financiera a la crisis alimentaria. Impacto sobre el campo mexicano. *Argumentos*, 21(57), 35-52
- Sábato, J., & Botana, N. (1978). *La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América Latina*. Recuperado el 24 de septiembre de 2018 de http://docs.politicasci.net/documents/Teoricos/Sabato_Botana.pdf
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2016). *Sección estadística*. Recuperado el 10 de octubre de 2016 en www.gob.mx/siap/
- Solow, R. M. (1957). Technical change and the aggregate production function. *The Review of Economics and Statistics*, 39(3), 312-320. doi: <https://doi.org/10.2307/1926047>
- Valdés-Rodríguez, O. A., & Palacios-Wassenaar, O. M. (2016). Evolución y situación actual de plantaciones para biocombustibles: perspectivas y retos para México. *Agroproductividad*, 9(2), 33-41.
- Vargas, J. M., Palacios, M. I., Camacho, J. H., Aguilar, J., & Ocampo, J. G. (2015). Factores de innovación en agricultura protegida en la región de Tulancingo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 827-840. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i4.622>
- Ward, P. S., Florax, R., & Flores-Lagunes, A. (2014). Climate change and agricultural productivity in Sub-Saharan Africa: A spatial sample selection model. *European Review of Agricultural Economics*, 41(2), 199-216. doi: <https://doi.org/10.1093/erae/jbt025>
- Wichelns, D. (2013). Investing in small, private irrigation to increase production and enhance livelihoods. *Agricultural Water Management*, 131(1), 163-166. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.09.003>
- Zamora-Hernández, T., Prado-Fuentes, A., Capataz-Tafur, J., Barrera-Figueroa, B. E., & Peña-Castro, J. M. (2014). Demostraciones prácticas de los retos y oportunidades de la producción de bioetanol de primera y segunda generación a partir de cultivos tropicales. *Educación Química*, 25(2), 265- 274. doi: [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70534-8](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70534-8)