

Eficiencia de los productores de maíz en Sinaloa: una propuesta metodológica

Luis Fernando López Reyes^{1§}
Luis Armando Becerra Perez¹

¹Facultad de Ciencias Económicas y Sociales-Universidad Autónoma de Sinaloa. Blvd. Universitarios y Av. de Las Américas unidad 3 s/n, Ciudad Universitaria, Culiacán, Sinaloa, Mexico. CP. 80010. Tel. 01(667) 7161128. (becerra@uas.edu.mx).

§Autor para correspondencia: Fernando.lopezreyes@hotmail.com.

Resumen

Dada la importancia que el estado de Sinaloa tiene en producción de maíz a nivel nacional, es menester analizar las condiciones en las que el productor sinaloense participa en el mercado y estimar su nivel de eficiencia técnica. La relevancia de conocer la eficiencia técnica del productor radica en que una falta de ésta implica un desperdicio de recursos que afecta el rendimiento y la reducción de costos promedios. En este ensayo se analiza la situación desventajosa en la que el productor participa en el mercado, puesto que el precio del maíz aumenta a un ritmo comparativamente menor que el de los precios de los insumos. Además, existen otros actores de la cadena de valor que obtienen una renta mayor con un riesgo financiero menor. Se propone el modelo de frontera estocástica para estimar el nivel de eficiencia y se ofrece una revisión de literatura que soporta la elección del modelo econométrico. Así mismo se presenta la ecuación a estimar considerando las prácticas de cultivo vigentes en el estado de Sinaloa. Se concluye que es de interés la estimación de la eficiencia técnica para conocer el espacio de mejora disponible dada la tecnología actual en la región de estudio y que el modelo de frontera estocástica es una alternativa viable para alcanzar dicho objetivo.

Palabras clave: eficiencia técnica, modelo de frontera estocástica, producción de maíz.

Recibido: enero de 2018

Aceptado: febrero de 2018

Introducción

Al igual que no todas las empresas son exitosas en maximizar sus ingresos; no todos los productores tienen éxito en administrar sus insumos de manera que maximicen sus ganancias. Por lo tanto, la búsqueda de la eficiencia resulta de importancia crítica para cualquier organización, incluyendo aquellos que participan en el sector agrícola. En ese sentido, el presente ensayo se enfoca en proponer un método para estimar la eficiencia técnica (ET) de los productores de maíz del estado de Sinaloa, dado que es uno de los productores líderes en el país con una producción de alrededor de cinco millones de toneladas al año, lo que equivale al 22% de la producción nacional (SAGARPA, 2014). Para los propósitos de este trabajo, eficiencia es el nivel óptimo de producción que resulta de la utilización de un conjunto de insumos con una tecnología dada.

Asumiendo que todos los productores de una región geográfica determinada tienen acceso a la misma tecnología, es de esperar que las variaciones en el nivel de eficiencia obedezcan a factores específicos de cada unidad de producción (eg. la cantidad de agua de riego utilizada por hectárea, labores culturales realizadas), de manera que los productores que optimicen mejor sus recursos, serán más eficientes.

En el año agrícola 2014 la superficie sembrada de maíz en México fue de 7.4 millones de hectáreas. Hay que señalar que esta superficie no ha aumentado de forma significativa en los últimos 15 años, pero no así sus rendimientos por hectárea, los cuales han ido en aumento, especialmente en la superficie de riego. El volumen de producción de maíz para ese mismo año fue de 23.3 millones de toneladas con un valor total de 72 518 millones de pesos.

La importancia del agua en la productividad del maíz es evidente. Para el año agrícola 2014, en riego, los rendimientos fueron de 8.83 t ha⁻¹ y 7.34 t ha⁻¹, en los ciclos otoño-invierno (O-I) y primavera-verano (P-V) respectivamente; mientras en temporal, los rendimientos fueron 1.9 t ha⁻¹ y 2.34 t ha⁻¹, en los mismos ciclos respectivamente. Sinaloa destaca por su importancia en el cultivo de maíz. Para el año agrícola 2014 en esta entidad se sembraron 408 mil hectáreas de maíz, cosechando 3.7 millones de toneladas. Su rendimiento en O-I, en riego (no se siembra maíz de temporal), que es el ciclo en el cual siembra su mayor parte, fue de 10.63 t ha⁻¹, rendimiento muy aceptable respecto a los obtenidos a nivel nacional (SIAP-SAGARPA, 2016).

Con un consumo per cápita de 253 kg, México es el octavo consumidor de maíz a nivel mundial. De acuerdo con Turrent (2005), México es apto para alcanzar una producción que oscile alrededor de los 32 millones de toneladas por año, considerando la misma superficie destinada para este cultivo de los últimos cinco años. Aun así, México se ubica como el cuarto productor de maíz a nivel mundial, solo detrás de Estados Unidos de América (EE. UU, 280 millones de toneladas), China (136 millones de toneladas) y Brasil con 44 millones de toneladas. Sin embargo, la producción total no satisface la demanda interna, por lo que México importa alrededor de 10 millones de toneladas de maíz cada año, principalmente de EE. UU, su principal socio comercial.

De acuerdo con Becerra (2014), el consumo nacional aparente de maíz en México fue de 30.5 millones de toneladas en el 2010, de los cuales aproximadamente 25% se abasteció vía importaciones. Aun reconociendo que la mayor parte de las importaciones son para consumo animal e industrial (maíz amarillo y no siempre el de mejor calidad), que al final termina convirtiéndose en consumo humano al transformarse en productos alimenticios (eg. carnes, cereales), ese déficit de grano compromete la soberanía alimentaria colocando a México en una posición de dependencia del exterior en uno de sus productos básicos en la dieta de la población.

Además de los impactos económicos y las implicaciones de dependencia del exterior, estudios recientes (Mendoza-Cano *et al.*, 2016) han encontrado que la importación de maíz a México proveniente de Estados Unidos tiene efectos negativos en el medio ambiente y en la salud humana. Estos autores encontraron evidencia que los impactos ambientales, medidos por el análisis de ciclo de vida (ACV), y los efectos en la salud humana, medido por los años de vida ajustados por discapacidad (AVAD), son más altos cuando el maíz es importado en comparación con el maíz producido en México.

Los hechos anteriores indican la factibilidad de que en caso de un incremento en la producción nacional, vía un aumento en la eficiencia, la colocación en el mercado nacional está garantizada y es positiva, no sólo desde la perspectiva de soberanía alimentaria, sino económicamente, ambientalmente y de salud pública. En este sentido, la experiencia nacional e internacional de Sinaloa en la producción y comercialización de maíz, que dicho sea de paso, es igual o mayor en términos de productividad con el cinturón del maíz (corn belt) de Estados Unidos de América, es aprovechable. Lo mencionado anteriormente, potencializa las oportunidades de colocación de un aumento tentativo de la producción y que coadyuvaría en la compleja problemática de la comercialización de la producción que cada ciclo enfrenta los agricultores locales.

Este ensayo se divide en cinco partes. La primera, es esta introducción que ubica al lector en la temática de análisis. La segunda, justifica el problema a abordar y las ventajas de conocer la eficiencia de los productores de maíz en México y Sinaloa. En la tercera parte, hacemos una revisión de la literatura que ha analizado el tema de la eficiencia de la producción de maíz a nivel mundial y en México. En la cuarta parte, se realiza la propuesta metodológica para determinar la ET de los productores de maíz, que aunque está contextualizada a Sinaloa, bien puede ser replicada a cualquier región de México y a otros cultivos. En la quinta y última parte, se ofrecen las conclusiones.

El problema de los productores de maíz

La problemática en el caso de los productores de maíz, es que enfrentan serias dificultades a través del proceso productivo y ciclo económico del cultivo. Si bien han sido capaces, mediante la implementación de buenas prácticas y manejo agrícola, de controlar los daños por plagas a su mínima expresión y son, al mismo tiempo, altamente productivos con rendimientos por encima de la media nacional, si enfrentan problemas de financiamiento, liquidez, alza en los precios de los insumos, fuerte competencia en el plano internacional y de comercialización. El incremento de los costos de producción no crece al paralelo al incremento del precio de mercado de los productos agrícolas. Esta situación tiene contra la pared a los empresarios del maíz que se encuentran desprotegidos ante tal circunstancia.

Ante esta tesitura de gran amenaza para los productores de maíz por el incremento desmedido de algunos insumos como la simiente y el fertilizante, resulta importante el diseño de estrategias para determinar su actuación y evitar una mayor descapitalización. Actualmente los productores están compartiendo la utilidad con vendedores de insumos cuyos riesgos son sumamente menores y sus ventajas financieras muy elevadas. Además, los comercializadores del grano obtienen también una renta mayor. Ante este sombrío panorama, los productores necesitan innovar para propiciar un cambio que les permita enfrentar los retos del entorno en una mejor posición. Por tal motivo, la estimación de la eficiencia es de mucha relevancia para conocer en qué forma están desempeñándose los productores y desde ese punto de partida, conocer los alcances que pudieran lograr mediante la implementación de políticas encaminadas al incremento de la eficiencia.

Varios estudios han tratado de justificar porque la eficiencia en la agricultura es importante especialmente en países en desarrollo. Considerando los factores sociales, económicos y culturales de una región, el aumento en la eficiencia productiva no depende necesariamente de la adopción de nuevas tecnologías, sino del uso efectivo de las tecnologías disponibles.

El análisis de la eficiencia de un sector de productores agrícolas puede ofrecer observaciones importantes sobre la competitividad de los mismos; así como sobre el potencial para incrementar la productividad y uso de los recursos. Un productor que es ineficiente está desperdiciando recursos porque no obtiene la producción máxima posible, dada la cantidad de insumos utilizados en el proceso de producción, comprometiendo, por ende, la posibilidad de reducir costos promedios. Una alta eficiencia en la producción de maíz colocará a Sinaloa en el camino adecuado a mejorar su competitividad en los mercados de destino, así como en el plano internacional, donde se encuentra ante la amenaza de la producción de grano en el exterior susceptible de importación al territorio nacional.

La estimación de la ET arroja también información relevante para la toma de decisiones a nivel empresarial (eg. productor) que conlleva a la óptima utilización de los recursos y capacidades. Como resaltan Abdulai y Tiejte (2007), el análisis de la eficiencia permite obtener información valiosa sobre la competitividad de los productores y su potencial de incrementar la productividad. Considerando lo anterior, es necesario estimar la eficiencia de los productores de maíz en Sinaloa, dicha estimación, fungirá como punta de lanza, primero, para determinar la magnitud del grado de mejora disponible. Es decir, la diferencia entre la eficiencia actual de los productores sinaloenses y la máxima posible, dada la tecnología, precios y factores del entorno que predominan en la región.

Una vez que las causas hayan sido identificadas, estaremos en mejor posición para inferir los escenarios probables de la implementación de políticas y reformas específicas para favorecer la revitalización del sistema producto maíz. Como la eficiencia puede ser ambivalente, es decir, se puede alcanzar mayor eficiencia aumentando la producción con los mismos insumos, como produciendo lo mismo usando menos recursos, las políticas van encaminadas a reducir costos.

Revisión de literatura en análisis de eficiencia

El estudio de la eficiencia en la producción de maíz ha sido un tema recurrente entre los investigadores agrícolas. Debido de su importancia mundial en términos de generación de alimentos básicos, generación de empleos y otros factores socioculturales, no es de sorprender que el maíz haya sido objeto de un importante número de estudios.

El desarrollo de la estimación y análisis de la eficiencia data de hace más de siete décadas (Koopmans, 1951) con mejoras significativas desde el punto de vista teórico y empírico durante la segunda mitad de la década de los setenta del siglo anterior (Aigner *et al.*, 1977). Variaciones en la ET en agricultura han sido estudiadas principalmente en países asiáticos como la India (Ali y Gupta, 2011), China (Chen y Song, 2008) y en países africanos particularmente en Sudáfrica (Pauw y Punt, 2007) y Kenia (Kibaara y Kavoi, 2012).

En su estudio, Kibaara y Kavoi (2012) estimaron la ET de la producción de maíz en Kenia y explicaron las variaciones de esta entre los productores; dichas diferencias se derivan de las características socio-económicas y demográficas de los productores y de sus capacidades gerenciales. Los autores calcularon la eficiencia específica de los productores utilizando 2,017 observaciones de una encuesta con datos transversales. Los resultados muestran que, en conjunto, la eficiencia media es de 49%, por tanto, existe un gran espacio para mejorar la producción utilizando la misma tecnología. El uso de semilla híbrida certificada, maquinaria y preparación del suelo, el nivel de educación, la interacción entre el nivel de educación y los ingresos fuera de la agricultura, el acceso a créditos y la edad del empresario, fueron los principales determinantes de la eficiencia.

Utilizando datos transversales de una muestra de 218 unidades de producción, Amor y Muller (2010) estimaron la ET de los productores de vegetales, frutas y cereales en Túnez. Acorde con sus resultados, los productores de cereal en ese país tienen un nivel de eficiencia de 77%. Lo que implica un espacio de aumento en la producción de 23% utilizando la misma tecnología. Educación, edad, técnicas de irrigación y tenencia de la tierra fueron encontradas como determinantes de la eficiencia.

Kelemework *et al.* (2012) estimaron el nivel de eficiencia agrícola de 29 países distintos de África y Asia para el periodo 1994-2000. Los resultados muestran que la eficiencia media de los países en la muestra es de 86%, con discretos aumentos durante el periodo en cuestión. Esto sugiere que existe un significativo espacio de mejora en productividad y reacomodo de los recursos existentes (14%). Investigación y desarrollo y educación, fueron los principales determinantes de la eficiencia.

En Pakistán, Ayaz y Hussain (2012) estimaron el nivel de eficiencia de los agricultores de la provincia de Punjab. Utilizando datos de 300 unidades de producción, concluyeron que el nivel de eficiencia prevalente entre los productores de la muestra era 84% o, lo que es igual, 16% de ineficiencia técnica. Experiencia del productor, educación y tamaño de la unidad de producción fueron los determinantes de la eficiencia; de manera sobresaliente, el acceso al crédito fue la variable más importante en dicha estimación.

Yabe *et al.* (2012) estimaron la eficiencia de los productores de maíz en la provincia de Sayaboury en la República Democrática Popular Lao, al suroeste de China. Mediante el uso de encuestas, obtuvieron datos de 178 empresarios. La eficiencia media de los productores fue de 85%. El nivel de educación, experiencia, tamaño de la unidad de producción, membresía de una asociación agrícola y acceso al crédito, fueron los principales determinantes de la eficiencia.

En base a una encuesta con 387 observaciones, se concluyó que el nivel de eficiencia de la agricultura de riego en Irán era de 76% (Burki y Shah, 1998). Las variables positivamente relacionadas al nivel de eficiencia, de acuerdo con este estudio, fueron la escolaridad, el riego y los fertilizantes, mientras que el tamaño de la unidad de producción y la edad del empresario se relacionan negativamente con la eficiencia.

En China, Chen y Huffman (2003) estimaron la eficiencia de los productores de granos. Los resultados indican que el nivel medio de eficiencia 86%. Maquinaria, tamaño de la unidad de producción y edad del empresario fueron variables determinantes.

Con un total de 32 estudios de eficiencia utilizando datos al nivel de unidades de producción de 15 países en desarrollo, Bravo-Ureta *et al.* (2001) concluyeron que la eficiencia media era del 68%. De la muestra, 8 estudios eran correspondientes a la producción de maíz de diferentes países como Nepal, China y Guatemala. En un subsecuente meta análisis, Bravo-Ureta *et al.* (2007), concluyeron que los países con las medias de eficiencia más elevadas eran los de Europa Occidental y Oceanía. En contraste, los niveles de eficiencia en agricultura más bajos se encuentran al este de Europa, seguido por los países de Asia, África, América Latina y Norteamérica.

En cuanto a estudios sobre la eficiencia en la producción de maíz en América Latina, la cantidad de investigaciones formales es un tanto más reducida. En Guatemala, Kalaitzandonakes y Dunn (1995), calcularon que la ET en la producción de maíz prevalente en esa fecha fue 73% en promedio. Educación, asistencia técnica y la experiencia fueron las variables estadísticamente significativas. Resultado consistente con el de Bravo y Pinheiro (1997), en su estudio sobre la eficiencia de 60 productores en la región de Dajabon en República Dominicana, concluyeron que la ET fue 70%.

En su investigación, Solís *et al.* (2009) estudiaron hasta qué punto la eficiencia de los productores en El Salvador y Honduras estaba relacionada con los programas de mejoramiento de recursos naturales implementados en Centroamérica. Con datos de 639 productores concluyeron que la eficiencia esta positivamente relacionada con mejoras financieras para los empresarios agrícolas y que a su vez contribuye al manejo sustentable del medio ambiente y el aumento de la productividad.

En Colombia, Janssen y Ruiz (1994) calcularon que la eficiencia de pequeños productores era de 56%. Y que este nivel de eficiencia, contribuye con 42% al incremento de la ganancia económica. Por su parte, en un estudio conducido en EE. UU y en base a 3 341 observaciones de espacios con influencia rural y 1 405 de influencia urbana, Nehring *et al.* (2006) concluyeron que los productores agrícolas asentados en comunidades rurales eran más eficientes que su contraparte los productores con influencia o proximidad a áreas urbanas. En el cinturón del maíz, (corn belt: Iowa, Illinois e Indiana), la eficiencia fue 63% para el periodo de estudio. También destacan que la eficiencia está relacionada con el retorno de la inversión y la productividad.

De las pocas investigaciones formales realizadas hasta el momento en relación a la estimación de la eficiencia en la producción de maíz en México, destaca la de Yunez-Naude *et al.* (2006). En ese trabajo, los autores estiman la eficiencia global por regiones geográficas, seccionando el territorio nacional en base a regiones productivas. Es decir, las regiones sur, centro, oeste central, noroeste y

noreste. Tomando información de la Encuesta Nacional de Hogares Rurales en México (ENHRUM) del año 2002, los autores concluyeron que en global, la producción de maíz en el territorio nacional es ineficiente, tanto para la agricultura de subsistencia como para la empresarial.

Las regiones más ineficientes, de acuerdo con los autores, son la zona centro y sur. Además, encontraron que la agricultura de subsistencia, los productores utilizan insumos que son menos eficientes (eg. semillas y agroquímicos), comparados con los productores empresariales. En suma, concluyen que los productores menos eficientes son aquellos que están inmersos en la agricultura de subsistencia, siembran una extensión <1 ha, son indígenas y basan su producción en semillas criollas.

Si bien estos resultados representan un primer esfuerzo para estimar la eficiencia de los productores de maíz en México, el trabajo tiene ciertas limitaciones. Como las estimaciones están basadas en una encuesta nacional que recaba información, en parte; a través, de las autoridades de comunidades, la información recabada puede contener sesgos y omisiones importantes. Además, muchos de los pequeños productores podrían no llevar un registro preciso de sus gastos, lo que complica la estimación de la eficiencia real. Para obtener datos más útiles y con un menor riesgo de sesgo, es necesario obtener la información directamente del productor. El Cuadro 1, muestra la literatura citada en este trabajo, destacando las variables consideradas por diferentes autores.

Cuadro 1. Principales estudios de eficiencia de la producción de maíz alrededor del mundo.

Autor	Lugar	Metodología aplicada	Cultivo analizado	Observaciones	VARIABLES	Eficiencia encontrada
Kibaara y Kavoi (2012).	Kenia	MFE ¹	Maíz	2 017 observaciones datos transversales	Semilla, maquinaria, educación, créditos	49%
Amor y Muller (2010).	Túnez	MFE	Maíz y frutas	218 unidades de producción	Educación, edad, irrigación, tenencia de la tierra	77%
Kelemework <i>et al.</i> (2012)	Asia y África (29 países)	Meta análisis	Maíz	-	Investigación y desarrollo y educación	86%
Solís (2009)	Centro América	MFE	Maíz	639 observaciones	Programas gubernamentales, asociación agrícola, gasto total	62%
Ayaz y Hussain (2012)	Pakistán	MFE	Maíz	+300 unidades de producción	Experiencia, educación, acceso al crédito	84%
Yunez-Naude <i>et al.</i> (2006)	México	MFE	Maíz	776 observaciones	Semillas, Agroquímicos	3%
Chen y Huffman (2003)	China	MFE	Maíz	64 empresas publicas	Maquinaria, tamaño, edad	86%
Kalaitzandonakes y Dunn (1995)	Guatemala	MFE	Maíz	+200 observaciones	Educación, asistencia	73%
Nehring <i>et al.</i> (2006).	EE. UU	MFE	Maíz	+4 000	Productividad, retorno a la inversión	63%

Fuente: elaboración con base a literatura revisada. ¹Modelo de frontera estocástica.

Estimación del nivel de eficiencia de los productores de maíz: propuesta metodológica

Como aparece actualmente en la literatura, el modelo de frontera estocástica (MFE), fue originalmente desarrollado por Aigner *et al.* (1977). En este modelo, eficiencia técnica se define como la habilidad de la organización de alcanzar la cantidad máxima de producción dada una serie de insumos y tecnología. Dicho de otra manera, la estimación de la ET permite inferir el espacio que resulta de la comparación entre los productores con extraordinarios resultados (benchmark) y por ende se colocan sobre la línea frontera, y los productores que se colocan por debajo de la línea de frontera; la función frontera representa la mejor tecnología en la práctica y contra la cual las demás organizaciones dentro de una industria serán comparadas para medir la eficiencia (Batesse y Coelli, 1995; Figura 1). Por este motivo, y en contraste con una función de producción regular, el MFE permite tomar medidas de ineficiencia puesto que no asume que todos los agricultores o unidades de producción están logrando la mejor producción posible.

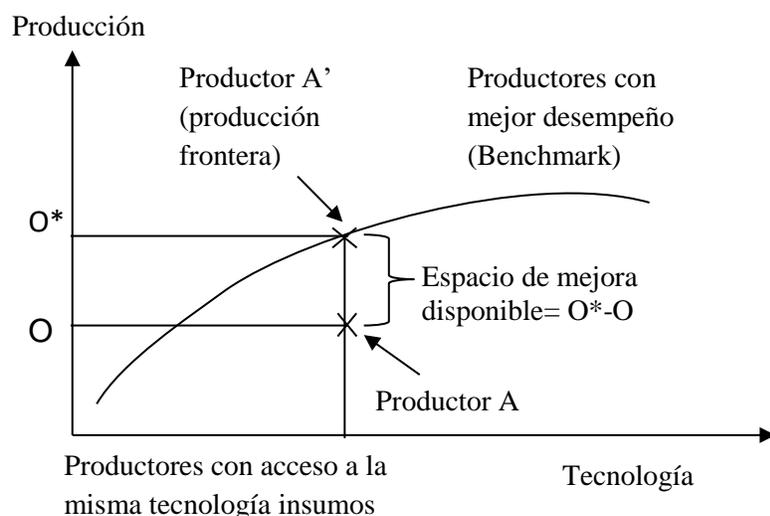


Figura 1. Ilustración del espacio de mejora disponible basado en los productores de mejor desempeño. Elaboración con base a Luo y Homburg (2008).

Los MFE pueden ser clasificados en dos categorías básicas: los paramétricos y los no paramétricos. La principal diferencia es que los modelos paramétricos de frontera estocástica (MFE) se basan en una forma funcional específica que implica una forma econométrica Aigner *et al.* (1977), mientras que los no paramétricos por sus siglas en inglés data envelopment analysis (DEA), no se basan en dicha forma Amor y Muller (2010) e incurren en el uso de programación lineal (Charnes *et al.*, 1978). Se propone usar la forma paramétrica del MFE ya que tiene algunas ventajas sobre su contraparte el modelo DEA; por ejemplo, el modelo no paramétrico asume que las variaciones en el desempeño de los productores se atribuyen en su totalidad a la ineficiencia. Asumir esto conlleva problemas, puesto que ignora la medida del error (eg. ruido estadístico), variables omitidas y los choques exógenos durante el proceso de estimación de parámetros (Iiyasu *et al.*, 2016). Asimismo, el MFE permite la prueba de hipótesis de los parámetros estimados. Por estos motivos el MFE es el propuesto en este ensayo.

La principal ventaja del MFE sobre el modelo tradicional de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) es que éste último ofrece estimaciones basadas solo en el productor promedio; mientras que la estimación del MFE es mayormente influenciado por los productores de mejor desempeño y por ello reflejan los beneficios de la tecnología que están utilizando. Siguiendo a Chávez *et al.* (2012), la forma esencial del MFE es:

$$y_i = f(\beta' X_i) + e_i \quad 1)$$

Donde: y_i es la producción del productor i en la muestra ($i=1, 2, \dots, I$), X_i es un vector ($1 \times k$) de cantidad de insumos de producción utilizados por la unidad de producción i , β es vector ($k \times 1$) de parámetros a estimar, $f(\beta' X_i)$ es la forma paramétrica de la tecnología utilizada, y e_i es un término de error estocástico utilizado por Batesse y Coelli (1995) y que está compuesto por:

$$e_i = v_i - u_i \quad 2)$$

Donde: v_i es el componente asimétrico y considera la variación al azar de la producción debido a factores fuera del control del agricultor (eg. cantidad de lluvia, clima extremo); entonces, v_i es un componente de ruido estadístico de dos caras y se asume que es independiente e idénticamente distribuido en $N(0, \sigma_v^2)$ e independiente de u_i ; u_i es una variable al azar no paramétrica, asociada con la ineficiencia técnica. Distribuciones como la gamma, exponencial y truncada-normal han sido propuestas en la literatura de producción estocástica de frontera, en la propuesta de este ensayo, el componente asimétrico u_i es una variable al azar no negativa y se asume que es independientemente distribuida con truncaciones (en cero) de la distribución semi-normal con media μ_i y varianza $\sigma_u^2 [N(\mu_i, \sigma_u^2)]$ (Kumbhakar y Lovell, 2002) y por ello captura la noción de asimetría entre los dos componentes de e_i . Siguiendo esta lógica, los efectos de la media de la ineficiencia técnica, μ_i , puede ser especificada como:

$$\mu_i = \sum \delta_k Z_k \quad 3)$$

Donde: Z_k es un vector ($1 \times m$) de variables específicas de cada unidad de producción asociadas con la ET, y δ_k es un vector ($m \times 1$) de parámetros desconocidos a estimar.

Por eso, la varianza de e_i es $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$, y el error estándar se calcula en: $\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_v^2}$: donde el parámetro gamma (γ) determina si en efecto el MFE es preferible sobre el tradicional modelo de función de producción (Kalirajan, 1981). Si fallamos en rechazar la hipótesis nula $H_0: \gamma = 0$ implicaría la ausencia de una frontera estocástica en términos de producción. En este horizonte, ET puede ser escrita como:

$$ET_i = \frac{y_i}{f(X_i, \beta) \exp(v_i)} \quad 4)$$

Este es el ratio de la producción observada y la producción máxima posible dada una tecnología caracterizada por $\exp\{v_i\}$; y_i alcanza su máximo en $[f(X_i, \beta) \exp\{v_i\}]$, solo en este punto el resultado $ET_i = 1$. Si $ET_i < 1$ entonces hay un espacio entre la producción observada de la unidad de producción i , y la producción máxima posible caracterizada por $\{v_i\}$. La ecuación 1 puede ser reescrita como:

$$y_i = f(\beta X_i) \exp\{v_i\} \exp\{-u_i\} \quad 5)$$

En la ecuación (5), $ET_i = \exp\{-u_i\}$, para la simplificación del análisis, esta es la forma estructural propuesta en este trabajo. Asumiendo que $f(\beta X_i)$ se comporta como una función tipo Cobb-Douglas, el MFE se transforma a:

$$\text{Log} y_i = \beta_0 + \sum \beta_n \text{Log} X_{ni} + v_i - u_i \quad 6)$$

Para el propósito de esta investigación el modelo empírico toma la forma:

$$\text{Ln} Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{ln} x_1 + \beta_2 \text{ln} x_2 + \beta_3 \text{ln} x_3 + \beta_4 \text{ln} x_4 + \beta_5 \text{ln} x_5 + \beta_6 \text{ln} x_6 + (v_i - u_i) \quad 7)$$

Donde: Y_i es la producción observada del productor i ; x_1 es mano de obra, medida en horas de trabajo por día; x_2 es gasto en agua, en el cultivo del maíz, bajo el esquema actual en la zona de estudio, esta variable es primordial. Una falta de, o una mala administración de los riegos tanto de pre-siembra como de auxilio, impactarían negativamente el nivel de producción; x_3 es cantidad de fertilizante. Esta variable se mide en kilogramos totales de fertilizantes aplicados por hectárea durante el ciclo del cultivo, independientemente del tipo de fertilizante, siendo los más usuales la urea, el amoníaco anhidro y otros fertilizantes líquidos; x_4 es cantidad de herbicidas aplicados por hectárea; x_5 es el nivel de capital del productor.

A mayor capital, el productor está en una mejor posición, ya que el capital engloba aspectos como maquinaria, mejores equipos e implementos agrícolas, acceso a laboratorios para análisis especializados, mayor asistencia técnica y hasta silos, entre otras cosas; x_6 es total de dinero invertido por hectárea durante todo el ciclo. Esta variable se introduce al modelo en parte para capturar los gastos operacionales. Estos incluyen costos de transportación, combustible, mantenimiento y reparación de equipos, gasto en seguros agrícolas, gasto en telefonía, etc. Aunque hubiera sido mejor utilizar datos para cada insumo en particular, un número razonable de productores no tienen información detallada (Batesse y Coelli, 1996). Los β 's son los parámetros a estimar.

Estimación de los determinantes de la eficiencia

En el segundo paso del modelo, se utiliza el MCO para estimar como las variables consideradas en el modelo se correlacionan con la eficiencia estimada en el primer paso del modelo. Basado en la metodología descrita por Batesse y Coelli (1996) para estimar ET, el modelo se especifica como:

$$u = \delta_0 + \delta_1 z_1 + \delta_2 z_2 + \delta_3 z_3 + \delta_4 z_4 + \delta_5 z_5 + \delta_6 z_6 + \delta_7 z_7 + e_1 \quad 8)$$

En la ecuación (8), u es el efecto de la ineficiencia, o la varianza de la variable al azar no negativa de la ecuación (2); z_1 es una variable dummy=1 cuando el productor i es miembro de una organización de productores, en nuestro caso de la confederación de asociaciones agrícolas del estado de Sinaloa (CAADES), 0 si no lo es. CAADES es una agencia cuyo primordial objetivo es ayudar a incrementar el nivel de productividad de los productores agrícolas de la región. Por ello, es de esperarse que los empresarios que sean socios de dicha agencia estén en mejor posición que los que no tienen lazos con la misma.

z_2 es el nivel de educación del productor, medido en años de educación formal recibida. Se espera una relación positiva con eficiencia, puesto que los productores con mayor educación son más proclives a tomar mejores decisiones, innovar y adoptar nuevos paquetes tecnológicos en beneficio propio.

z_3 es la edad del productor, se incorpora al modelo para investigar dos cuestiones, primero, si tiene influencia sobre el nivel de eficiencia del empresario y segundo, si esa influencia es positiva o negativa. La edad ha sido relacionada en otros trabajos positivamente con la eficiencia, puesto que es un proxy para experiencia. Los productores de mayor edad, se asume que han ganado experiencia a lo largo del tiempo. Aunque también se les relaciona con ser más conservadores y exhibir una menor disposición a la adopción de nuevas tecnologías. Por otro lado, la literatura también reporta casos donde productores más jóvenes han sido encontrados más eficientes. Presumiblemente por su tendencia a adoptar nuevas tecnologías.

z_4 es una variable dummy sobre la tenencia de la tierra. La motivación es establecer si ser dueño de la unidad de producción influye sobre la ET. Se espera una relación positiva; es decir, los productores dueños del predio serán más eficientes que su contraparte, los productores que incurren en contratos de arrendamiento. z_5 es una variable dummy que diferencia a los empresarios clasificándolos entre los que la producción de maíz es su principal fuente de ingresos y los que no. Se espera una relación positiva; es decir, los productores quienes perciben del cultivo del maíz su principal ingreso serán más eficientes, puesto que se asume su dedicación de tiempo completo al cultivo del grano.

z_6 es una variable dummy que diferencia a los empresarios casados y solteros. Se espera una relación positiva con la eficiencia. Esto debido a que los productores casados son presumiblemente de mayor edad y por ende, tienen una acumulación mayor de conocimientos que los empresarios solteros. z_7 es una variable dummy que indica si el empresario realizó análisis de suelo previo al proceso de siembra. Se espera una correlación positiva con la eficiencia. La razón es que el análisis de suelo permite determinar con mayor grado de certeza los requerimientos de los suelos en términos de fertilización, riegos y manejo en general. δ 's Son parámetros a estimar (Cuadro 2) para una descripción de todas las variables. El análisis estadístico se puede realizar con la ayuda de dos software econométricos: Nlogit 5/Limdep 10 y Frontier 4.0.

Cuadro 2. Descripción de las variables.

Variable	Descripción
Producción	Producción total por hectárea
Mano de obra	Horas de trabajo por hombre por día.
Agua	Gasto en agua por hectárea
Fertilizante	Cantidad de fertilizante aplicado por hectárea en kilogramos
Costo	Cantidad total de dinero gastado por hectárea durante el ciclo agrícola.
CAADES	Variable dummy= "1" si el productor es miembro de la CAADES, "0" si no lo es.
Educación	Nivel de educación del productor: 1= primaria, 2= secundaria, 3= preparatoria y 4= licenciatura
Edad	Edad del productor
Tenencia	Variable dummy= "1" si el productor es dueño de la tierra, "0" si no lo es

Conclusiones

Este trabajo propone una metodología para estimar la ET de los productores de maíz en Sinaloa, aunque este ejemplo puede ser replicado para otras regiones del país y para otros cultivos. Sinaloa es uno de los principales productores de maíz a nivel nacional. Claramente, el conglomerado de productores y la estrecha integración con otros actores de la cadena de valor, han contribuido a que los empresarios del maíz sinaloenses se consoliden. Sin embargo, son los productores los que conllevan un riesgo mayor en el desempeño de su actividad. Las empresas transnacionales productoras de la simiente y las casas comercializadoras de insumos y maquinaria agrícola, con un riesgo menor obtienen una renta mayor. Además, los intermediarios en la fase de comercialización participan también con un riesgo comparativamente menor al del productor, obteniendo ganancias mayores que el mismo productor.

En consecuencia, los productores de maíz en Sinaloa deben innovar sus procesos productivos, a fin de enfrentar los retos actuales y futuros, derivados principalmente de la transición del enfoque proteccionista a la apertura comercial, en una mejor posición. Por ello, la estimación del nivel de eficiencia prevalente en la región retoma particular interés.

De la estimación de la eficiencia se puede inferir el espacio de mejora disponible dada la tecnología y la vigente forma de organización de la producción de maíz en Sinaloa. Se concluye que el modelo de frontera estocástica (MFE) es pertinente para dicho objetivo, puesto que su validez ha sido probada en múltiples estudios agrícolas y particularmente en producción de maíz en diferentes regiones del mundo. En ese sentido, en este ensayo se documentó el estado del arte en materia de medición de eficiencia agrícola y se concluye proponiendo una metodología específica para determinar la ET del productor de maíz en Sinaloa.

Literatura citada

- Abdulai, A. and Tietje, H. 2007. Estimating technical efficiency under unobserved heterogeneity with stochastic frontier models: application to northern German dairy farms. *Eur. Rev. Agri. Econ.* 34(3):393-416.
- Aigner, D; Lovell, C. A. and Schmidt, P. 1977. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *J. Econ.* 6(1):21-37.
- Ali, J. and Gupta, B. 2011. Efficiency in agricultural commodity futures markets in India. Evidence from cointegration and causality tests. *Agricul. Finance Rev.* 2(71):162-178.
- Amor, T. B. and Muller, C. 2010. Application of stochastic production frontier in the estimation of technical efficiency of irrigated agriculture in Tunisia. *Agric. J.* 5(2):50-56.
- Ayaz, S. and Hussain, Z. 2012. Impact of institutional credit on production efficiency of farming sector. *Pakistan Econ. Soc. Rev.* 2(49):149-162.
- Batesse, G. and Coelli, T. 1995. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empirical Econ.* 20(2):325-332.
- Battese, G. and Coelli, T. 1996. Identification of factors which influence the technical inefficiency of Indian farmers. *Austr. J. Agri. Econ.* 40(3):103-128.
- Becerra, L. A. 2014. La producción de etanol en México: insumos, procesos y oxigenación de gasolina. Universidad Autónoma de Sinaloa. ISBN: 978-607-737-027-7. 217 p.

- Bravo, U. B; Rivas, T. and Abdourahmane, T. 2001. Technical efficiency in developing countries agriculture: a meta-analysis. *Agri. Econ.* 25(2-3):235-243.
- Bravo, U. B. and Pinheiro, A. 1997. Technical, economic, and allocative efficiency in peasant farming: evidence from the Dominican Republic. *The Developing Countries.* 35(1):48-67.
- Bravo, U. B; Solis, D; Moreira, V; Maripami, J; Thiam, A. and Rivas, T. 2007. Technical efficiency in farming: a meta-regression analysis. *J. Prod. Analy.* 27(1):57-72.
- Burki, A. and Shah N. 1998. Stochastic frontier and technical efficiency of farms in irrigated areas of Pakistan's Punjab. *The Pakistan Develop. Rev.* 37(3):275-291.
- Charnes, A; Cooper, W. and Rhodes, E. 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *Eur. J. Operat. Res.* 2(6):429-444.
- Chauvet, M. y Lazos E. 2014. El Maíz transgénico en Sinaloa: ¿tecnología inapropiada, obsoleta o de vanguardia? implicaciones socioeconómicas de la posible siembra comercial. *Sociológica.* 29(82):7-14.
- Chavez, H; Nadolnyak, D. A. and Kloepper, J. 2012. Stochastic frontier analysis of biological agents (microbial inoculants) input usage in apple production. Annual Meeting, February 4-7, Birmingham, Alabama. No. 119796. South. Agri. Econ. Association. 1-20 p.
- Chen, A. and Huffman W. 2003. Technical efficiency of Chinese grain production: a stochastic production frontier approach. *Ameri. Agri. Econ. Assoc. Annual Meeting, Montreal, Canada.* 1-29 p.
- Chen, Z. and Song, S. 2008. Efficiency and technology gap in China's agriculture: a regional meta-frontier analysis. *China Econ. Rev.* 19(2):287-296. <http://economista.com.mx/columnas/agro-negocios/2013/02/11/produccion-maiz-mexico>.
- Iliyasu, A; Zainal, M; Mohamed, I; Abdullah, A. and Hashin, M. 2016. Technical efficiency of cage fish farming in peninsular Malaysia: a stochastic frontier production approach. *Aquaculture Res.* 47(1):101-113.
- Janssen, W. and Ruiz, N. 1994. Modernization of a peasant crop in Colombia: evidence and implication. *Agri. Econ.* 10(1):13-25.
- Kalaitzandonakes, N. G. and Dunn, E. G. 1995. Technical efficiency, managerial ability and farmer education in Guatemalan corn production: a latent variable analysis. *Agri. and Res. Econ. Rev.* 24(1):36-46.
- Kalirajan, K. P 1981. An econometric analysis of yield variability in paddy production, *Canadian J. Agri. Econ.* 29(3):283-294.
- Kelemework, D; Spielman, D. and Esendurue, G. 2012. Innovation system and technical efficiency in developing-country agriculture. South. Agri. Econ. Assoc. Annual Meeting, Birmingham, AL. 4-7 pp.
- Kibaara, B. W. and Kavoi M. 2012. Application of stochastic frontier approach model to assess technical efficiency in Kenya's maize production. *JAGST.* 14(1):3-20.
- Koopmans, T. C. 1951. An analysis of production as an efficient combination of activities. An activity analysis of production and allocation. Cowles Commission for Research in Economics, Monograph. 13. Edited John Wiley and Sons, New York. 33-97 pp.
- Kumbhakar, C. and Lovell, C. A. 2002. Stochastic frontier analysis. *Econ. J.* 477(112):156-168.
- Luo X. and Homburg, C. 2008. Satisfaction, complaint, and the stock value gap. *J. Marketing.* 72(4):29-43.
- Mendoza, O; Sánchez, R; González, A; Murillo, E. and Nava, C. 2016. Health impacts from Corn production pre-and post-NAFTA trade agreement (1986-2013). *Inter. J. Environ. Res. Public Health.* 13:709. DOI: 10.3399/ijerph13070709.

- Nehring, R; Barnard, D; Banker, C. and Vince, B. 2006. Urban influence on costs of production in the corn belt. *Amer. J. Agri. Econ.* 88(4):930-946.
- Pauw, K; McDodald, S. and Punt, C. 2007. Agricultural efficiency and welfare and south Africa. *Develop. South. Africa.* June. 24(2)309-333.
- SIAP-SAGARPA. 2016. Base de datos. (<http://www.siap.sagarpa.gob.mx>).
- Solís, D; Bravo, U. B. and Quiroga R. 2009. Technical efficiency among peasant farmers participating in natural resource management programs in Central America. *J. Agri. Econ.* 1(60):202-219.
- Turrent, F. A. y Cortés, F. J. I. 2005. Ciencia y tecnología en la agricultura mexicana: producción de alimentos. *Terra Latinoam.* 23(2):265-281.
- Yabe, M.; Goshi, S. and Vanisavetn, V. 2012. Analysis of technical efficiency of smallholder maize farmers in northern LAO PDR: case study of Paklay district, Sayaboury province. *J. Faculty Agric. Kyushu University, Japan.* 57(1):209-315.
- Yúnez, N. A; Juárez, M. y Barceinas, F. 2006. Productive efficiency in agriculture: corn production in Mexico. *Internat. Assoc. of Agri. Econ. Conference, Gold Coast, Australia.* 12-18 pp.