

6. ESTIMACIÓN DE BRECHAS TECNOLÓGICAS Y SUS DETERMINANTES EN EL SECTOR AGROPECUARIO COLOMBIANO

**Juan Mauricio Ramírez
Juan José Perfetti
Juan Guillermo Bedoya***

La cuantificación de la eficiencia técnica y la identificación de sus determinantes es un insumo fundamental para el diseño de políticas públicas y el manejo de las unidades productivas (Bravo-Ureta y Rieger, 1991). La posibilidad de obtener mayor nivel de producto haciendo un uso más eficiente de los insumos que participan en el proceso productivo, puede ser una de las principales fuentes de crecimiento para un sector particular, especialmente cuando existe campo para impulsar procesos de crecimiento con implicaciones en el bienestar de los productores y mejoras de productividad en la economía, y que pueden constituir ganancias tempranas frente a procesos más complejos asociados con la introducción de cambios tecnológicos significativos (Bravo-Ureta y Pinheiro, 1993).

Como lo señalan Tsonias y Kumbhakar (2004), las aproximaciones que consideran de manera explícita la eficiencia técnica permiten identificar los productores, regiones y/o sectores que presentan ineficiencia significativa. Este proceso de identificación y el análisis de los determinantes de la ineficiencia abren espacio para el diseño de políticas públicas que puedan generar mejoras de eficiencia con intervenciones eficaces en un sentido costo-beneficio.

El objetivo de este estudio es estimar las brechas tecnológicas en la producción de un conjunto de productos agropecuarios por parte de pequeños y medianos productores

* Los autores son, en su orden: investigador asociado de Fedesarrollo; investigador asociado de Fedesarrollo y estudiante de la Universidad Carlos III de Madrid.

Este trabajo contó con el apoyo del BID a través del Programa de Mejora de la Competitividad y Productividad Sectorial. El trabajo recibió valiosos comentarios de Álvaro García, Sergio Ardila y César Falconi, del BID; Steve Boucher, de UC Davis; Leopoldo Fergusson, Raúl Castro y Ramón Rosales, del CEDE, Universidad de los Andes; Boris Bravo-Ureta, de la Universidad de Connecticut; Leonardo Villar y asistentes a seminarios en Fedesarrollo y en el BID. Se agradecen también los excelentes comentarios de un evaluador anónimo.

Las opiniones expresadas en este capítulo son responsabilidad de los autores y no comprometen a las instituciones a las cuales están vinculados ni al Banco de la República ni a su Junta Directiva.

en Colombia e indagar por los factores que explican dichas brechas. Para ello se aborda una metodología basada en Battese y Coelli (1995) que permite obtener medidas de eficiencia técnica e identificar, consistentemente, la posible asociación entre la eficiencia y un conjunto de variables, donde nuestro interés se concentra en aquellas relacionadas con variables de política como capacitación, crédito y asistencia técnica agropecuaria.

Para la estimación econométrica se utiliza una muestra de productores que se beneficiaron del programa Agro Ingreso Seguro entre 2008 y 2010. Como es común en este tipo de programas, la escogencia de los beneficiarios no implicó un proceso aleatorio, lo que plantea problemas de sesgo de selección de la muestra. Aunque esta es una característica de los datos que debe ser tomada en cuenta para cualquier evaluación de impacto del programa (como en efecto lo hizo la de Econometría, 2011), no es ese el objetivo que se persigue en las estimaciones econométricas que se presentan en este estudio. En ese sentido, se debe señalar que no se pretende establecer el efecto causal de este conjunto de variables sobre la eficiencia, sino el grado de asociación que puede existir entre ellas y los niveles de eficiencia técnica.

El estudio está dividido en cuatro secciones, además de esta introducción. En la primera sección se exponen los principales elementos conceptuales y metodológicos de los modelos de frontera de producción estocástica, el cálculo de las medidas de eficiencia técnica y la estimación de sus determinantes con la utilización de datos panel; en adición a lo anterior, se caracteriza este trabajo dentro de la literatura relacionada con la eficiencia técnica. En la segunda sección se describe la información de la línea base del programa AIS que se utiliza para las estimaciones econométricas. En la tercera sección se presentan los resultados de las estimaciones de los niveles de ineficiencia técnica y sus determinantes. La cuarta sección presenta las conclusiones y recomendaciones.

1. MARCO CONCEPTUAL Y APROXIMACIÓN EMPÍRICA

La eficiencia técnica puede ser vista desde una orientación de insumo o una de producto. En el primer caso se entiende por eficiencia la obtención de cierto nivel de producto usando la cantidad mínima de insumos; en la segunda perspectiva, se trata de producir el máximo nivel de producto para un nivel dado de insumos.

Un productor se considera técnicamente eficiente si se encuentra sobre la frontera del conjunto de posibilidades de producción (FPP), porque combina los insumos de la mejor manera y asegura la obtención del mayor nivel de producto posible con la tecnología disponible.

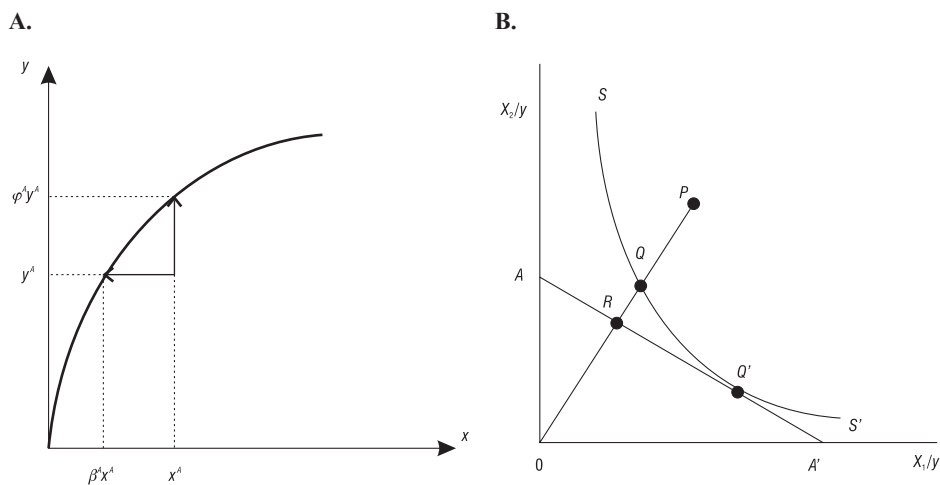
La frontera de posibilidades de producción se constituye, entonces, en el punto de referencia con respecto al cual se obtienen las medidas de eficiencia técnica¹, determinando como unidades productivas eficientes aquellas que se encuentran sobre esta frontera, e ineficientes a las que se hallan en el interior del conjunto con exclusión del límite superior. En el Gráfico 1(a), quien utiliza x^A para producir y^A es ineficiente, porque podría utilizar

¹ Las medidas de eficiencia técnica se construyen relativas al conjunto de productores que se encuentran sobre la frontera, es decir, aquellos que son técnicamente eficientes.

una proporción menor de insumos ($\beta^A x^A$) para lograr el mismo resultado; alternatively, con los mismos insumos x^A podría lograr una mayor producción $\phi^A y^A$.

El Gráfico 1(b) representa específicamente el modelo de Farrell (1957) distinguiendo entre eficiencia técnica y eficiencia asignativa o económica. Esta última se refiere a la combinación óptima de insumos (x_1 y x_2) teniendo en cuenta sus precios relativos, representados por la línea AA' . La tecnología de producción está representada en este caso por la isocuenta SS' , que mide las combinaciones de insumos para obtener un mismo nivel de producto (y). Esto significa que el productor ubicado en P es técnicamente ineficiente porque puede reducir proporcionalmente su uso de insumos al punto Q y obtener el producto y . La medida de eficiencia técnica es, por lo tanto, OQ/OP .

Gráfico 1
Frontera de Posibilidades de Producción y eficiencia técnica



Fuentes: Kumhakar y Lovell (2000) para el A.; Dube & Guyeva (2014) para el B.

Al incorporar la información de precios relativos de los factores, la combinación óptima de minimización de costos para obtener el producto y es aquella en la que ambas funciones son tangentes, es decir, en el punto Q' . La medida de eficiencia asignativa o económica es, por lo tanto, OR/OQ^2 .

Formalmente, y desde una visión de insumo, una unidad de producción es eficiente si no existe otro plan de producción $(x, y) \neq (x', y') \in S$ tal que $x \leq x' \wedge y \geq y'$, es decir, no existe otro plan con el que mediante el uso de una cantidad menor o igual de insumos (x) se pueda producir una cantidad igual o mayor de producto (y).

² Por las limitaciones de la información de precios de los factores este estudio se concentra en la medida de la eficiencia técnica y sus determinantes.

Para cuantificar el nivel de eficiencia técnica de una unidad productiva es necesario suponer una estructura que represente de manera consistente la tecnología y el comportamiento de dicha unidad. La literatura teórica y empírica ha hecho uso de la función de costos, la de producción y/o la de beneficios, para describir tal comportamiento; sin embargo, los mayores desarrollos metodológicos en esta literatura se han basado en la función de producción.

Como señala Alene (2003) en un análisis de la producción agropecuaria, las metodologías para cuantificar la eficiencia técnica se pueden resumir en cuatro grandes grupos: i) estimadores promedio de la productividad factorial, ii) aproximación por programación lineal, iii) aproximación por funciones de producción, y iv) aproximación por función de beneficios.

La literatura ha cuestionado particularmente las metodologías i) y iv). En el primer caso, De Haen y Runge-Metzger (1989) señalan que la comparación de indicadores de productividad agregados no captura elementos relevantes en la estructura productiva de cada unidad de análisis, como son las diferencias en las proporciones factoriales o el acceso a ingresos por fuera de la actividad agropecuaria.

Frente a las metodologías basadas en la función de beneficios, las críticas se han concentrado en señalar que posiblemente la minimización de riesgo o las necesidades de subsistencia son los factores que más impacto tienen sobre las decisiones de producción, por lo que la maximización de beneficios resulta una aproximación poco plausible para caracterizar la producción agropecuaria, particularmente en el caso de los pequeños productores.

En el análisis que sigue se describe la estimación de la ineficiencia técnica con base en el enfoque desde la función de producción.

1.1 Medidas de eficiencia técnica

1.1.1 El modelo determinístico

El trabajo de Farrell (1957) estableció los elementos básicos e inició la agenda de investigación en la metodología de frontera de producción. El modelo desarrollado en su artículo pionero es conocido como el modelo determinístico no paramétrico de frontera, el cual fue ampliado posteriormente por Färe *et al.* (1985), entre otros, y derivó en lo que se conoce como el Análisis Envolvente de Datos (DEA, por su sigla en inglés).

El DEA es una metodología no paramétrica para estimar una función de distancia con base en técnicas de programación lineal, la cual garantiza que cada una de las observaciones se encuentre encima o debajo de la frontera³.

Además, el carácter determinístico de esta aproximación implica que cualquier desviación de la frontera es causada por la ineficiencia, o sea que incluso aquellas desviaciones

³ La frontera puede ser planteada como 'insumo orientada' o 'producto orientada', como se observa en el Gráfico 1.

producidas por elementos que se encuentran fuera del control del productor, como por ejemplo el clima o la calidad de la tierra, se reflejarían en la medida de ineficiencia.

Siguiendo otra idea también planteada por Farrell (1957), consistente en construir un conjunto convexo de las razones insumo-producto por medio de una función de producción Cobb-Douglas, Aigner y Chu (1968) propusieron una frontera de producción conocida como el método paramétrico de frontera determinística.

De acuerdo con esta metodología, los parámetros de una versión log-linealizada de la frontera de producción eran obtenidos mediante la minimización de la suma absoluta o cuadrática de los residuales, en la que estos últimos son una medida de la ineficiencia técnica para cada unidad de análisis. Esta aproximación, al igual que la no paramétrica, es altamente sensible a observaciones extremas y errores de medida, y asume que cualquier desviación de la frontera es debida a la ineficiencia técnica, aun aquella que es ocasionada por factores que se encuentran por fuera del control del productor (Porcelli, 2009).

1.1.2 El modelo estocástico

Los modelos de frontera de producción estocástica aparecen como una forma de afrontar la presencia de observaciones extremas y permitir la existencia de ruido en el proceso de estimación. En efecto, como lo señala Alene (2003), agregar los efectos de choques exógenos, los errores de medida y la ineficiencia en un solo término de error, y darle una interpretación absoluta de ineficiencia a tal término, resulta problemático.

Con el fin de resolver estas dificultades, Aigner *et al.* (1977) y Meeusen y Van den Broeck (1977) desarrollaron el modelo de frontera de producción estocástica, el cual establece un error aditivo de dos componentes: el primero es un componente simétrico entre unidades de análisis que captura errores de medida, ruido estadístico y choques exógenos que se encuentran por fuera del control del productor; el segundo, por su parte, captura la ineficiencia relativa de la unidad de análisis.

En el modelo de frontera de producción estocástica de Battese (1992), la ecuación [1] representa la función de producción para una firma i , donde Y_i es el producto total, X_i un vector de insumos, β un vector de parámetros desconocidos y ε_i un error compuesto:

$$Y_i = f(X_i, \beta) \exp(\varepsilon_i) \quad (1)$$

El error definido en (1) se puede escribir como:

$$\varepsilon_i = v_i - u_i \quad (2)$$

El elemento v_i representa el componente simétrico que captura los errores de medida, ruido estadístico y choques exógenos fuera del control de cada unidad de producción i . Se supone que los v_i se distribuyen idéntica e independientemente con una distribución normal, media cero y varianza σ_v^2 , ($v_i \sim \mathcal{N}(0, \sigma_v^2)$), e independientemente de los u_i . Por otra parte, los u_i se asumen distribuidos como valores no negativos provenientes de una

distribución normal truncada, con media μ y varianza σ_u^2 , ($u_i \sim |N(0, \sigma_u^2)|$), y se interpretan como la medida de eficiencia relativa para la unidad de producción i^4 .

En los casos en los que $u_i = 0$ se considera que la unidad de producción se encuentra sobre la frontera, es decir, está haciendo el mejor uso posible de los insumos a su disposición y obtiene el mayor nivel de producto posible dada la tecnología disponible. Cuando $u_i > 0$ se considera que el productor se encuentra por debajo de la frontera, es decir, el productor es ineficiente.

A partir de las ecuaciones (1) y (2), la eficiencia técnica para la i -ésima unidad de producción puede ser definida como:

$$ET = \frac{Y_i}{f(X_i, \beta) \exp(v_i)} \quad (3)$$

Siguiendo a Jondrow *et al.* (1982), el estimador de la eficiencia técnica para la i -ésima unidad de producción puede obtenerse de la esperanza condicional de u_i dado ε_i :

$$E(u_i | \varepsilon_i) = \frac{\sigma_u \sigma_v}{\sigma} \left[\frac{f(\bullet)}{1 - F(\bullet)} - \frac{\varepsilon_i}{\sigma} \left(\frac{\gamma}{1 - \gamma} \right)^{1/2} \right] \quad (4)$$

Donde ε_i son los residuales estimados para cada unidad de producción, $f(\bullet)$ la densidad de la distribución normal estandarizada evaluada en $\frac{\varepsilon_i}{\sigma} \left(\frac{\gamma}{1 - \gamma} \right)^{1/2}$ y $F(\bullet)$ la función de distribución acumulada de la normal estandarizada igualmente evaluada en $\frac{\varepsilon_i}{\sigma} \left(\frac{\gamma}{1 - \gamma} \right)^{1/2}$. Los estimadores para β se obtienen por máxima verosimilitud, así como $\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma^2}$, con $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$ dada la independencia asumida entre los dos componentes del error ε_i .

1.2 Determinantes de la ineficiencia técnica y modelos de datos panel

El marco empírico básico del modelo de frontera estocástica presentado en la sección anterior consideraba la disponibilidad de datos de corte transversal. Sin embargo, durante los últimos años, dado el aumento y la regularidad de la información disponible, las aproximaciones econométricas se han extendido a los estudios de datos de panel. La oportunidad de observar una misma unidad de análisis en varios momentos del tiempo amplía las posibilidades de estimación y análisis⁵.

⁴ En la siguiente sección se presenta la aproximación de datos panel de Battese y Coelli (1995), en la que además se modela de manera explícita la existencia de un conjunto de determinantes de la ineficiencia técnica modificando el supuesto de una media μ a uno en que la media depende de unos determinantes z .

⁵ Baltagi (2005) identifica seis beneficios provenientes de los ejercicios basados en datos panel: 1) la posibilidad de controlar por la heterogeneidad de las diferentes unidades de análisis; 2) mayor información,

Para el caso del modelo de frontera estocástica, Battese y Coelli (1995) extienden el marco metodológico anteriormente expuesto, lo que permite no solo incorporar estimaciones de modelos de datos panel, sino además incluir un modelo de determinantes para la ineficiencia técnica. Este último elemento se presenta como una herramienta fundamental, ya que además de obtener una medida de eficiencia técnica se pueden estudiar los determinantes de la misma, los cuales se constituyen en información valiosa para la identificación de posibles instrumentos de intervención en el diseño de políticas públicas.

Battese y Coelli (1995) señalan un aspecto problemático de trabajos previos como el de Pitt y Lee (1981) que abordan la estimación de determinantes de la ineficiencia técnica como un proceso en dos etapas. El problema reside en que mientras en la primera etapa se estima la frontera de producción estocástica y se obtiene una predicción de la medida de eficiencia técnica bajo el supuesto de distribución idéntica entre unidades de análisis, en la segunda etapa se toman las estimaciones de eficiencia y se regresan con respecto a un grupo de variables explicativas, lo cual viola los supuestos distribucionales de la primera etapa (distribución idéntica).

A fin de resolver esta inconsistencia y permitir la incorporación de un modelo para los determinantes, Battese y Coelli (1995) proponen un modelo compuesto de dos ecuaciones,

$$Y_{it} = f(X_{it}, \beta) \exp(v_{it} - y_{it}) \quad (5)$$

$$u_{it} = z_{it} \delta + w_{it} \quad (6)$$

En contraste con el modelo base presentado en la sección anterior, el subíndice t hace referencia a la dimensión temporal del panel de datos y, lo que es más relevante, se asume que los u_{it} son independientemente distribuidos y provienen del truncado en cero de la distribución normal, con media $z_{it} \delta$ y varianza σ_u^2 ($u_{it} \sim |N(z_{it} \delta, \sigma_u^2)|$), donde z_{it} es un vector de variables explicativas asociadas con la ineficiencia técnica de la producción para la unidad de análisis i en el tiempo t y δ un vector de coeficientes desconocidos asociados con las variables explicativas contenidas en z_{it} .

El modelo representado por las ecuaciones (5) y (6) se estima de manera conjunta por el método de máxima verosimilitud, mejorando la eficiencia de los estimadores y respetando los supuestos distribucionales sobre cada uno de los componentes del modelo.

Luego de finalizar el proceso de estimación, la medida de eficiencia técnica para cada unidad de producción y los determinantes de la misma se convierten en los elementos claves de análisis para este estudio.

más variabilidad, menos colinealidad entre variables, más grados de libertad y estimadores más eficientes; 3) un contexto que permite estudiar de mejor manera las dinámicas de ajuste; 4) identificación de efectos que no pueden ser capturados en ejercicios de corte transversal y series de tiempo; 5) la posibilidad de construir y probar modelos comportamentales más complejos, y 6) mayor precisión proveniente de la reducción en los niveles de agregación de la información.

1.3 Aproximaciones recientes

Con la consolidación de la literatura sobre frontera estocástica y sus extensiones, la literatura reciente se ha orientado hacia su utilización para identificar efectos causales de intervenciones de política pública particulares. En tal dirección, se han desarrollado metodologías que combinan la estimación de fronteras de eficiencia con la creciente literatura de evaluaciones de impacto (Bravo-Ureta, 2014).

El objetivo de este análisis es identificar el efecto causal de intervenciones de política específicas en los niveles de eficiencia de los productores y, de esta manera, aportar evidencias que puedan guiar las decisiones de asignación de recursos a programas alternativos para incrementar la productividad agropecuaria. El desarrollo empírico de esta línea de investigación requiere de procesos aleatorios en la selección de los beneficiarios de los programas o el uso de técnicas econométricas que corrijan por posibles sesgos de selección cuando la selección de beneficiarios no sigue un proceso aleatorio.

El desarrollo de esta línea de investigación debe permitir superar la falta de evidencias empíricas sobre los efectos de programas agrícolas en países en desarrollo, que, como lo señalan González-Flores *et al.* (2014), muchas veces se han centrado en indicadores agregados de producción y del valor del producto, con lo cual no es posible identificar su verdadero impacto sobre la eficiencia técnica y la adopción de las mejores prácticas.

2. LA INFORMACIÓN

Para la estimación de brechas tecnológicas se utiliza información del programa Agro Ingreso Seguro (AIS). Este programa se creó mediante la Ley 1133 de 2007 con el objetivo de mejorar la competitividad del sector agropecuario con miras a internacionalizar la economía colombiana y proteger los ingresos de los productores frente a “las distorsiones derivadas de los mercados externos”.

En 2008 se construyó una línea base (LB) con información muestral para un universo representado por 33.369 productores agropecuarios que se beneficiaron del programa en el periodo enero-mayo de 2008, y en 2010 se recolectó la información de seguimiento. El resultado fue un conjunto de información disponible para 6.709 productores, de los cuales 2.250 eran beneficiarios del programa en alguna de sus líneas en 2008 y 4.459 eran controles, mientras que para el año 2010 se incluyeron 5.922 productores, con 1.865 beneficiarios y 4.057 controles.

El diseño de la muestra incluyó las áreas más representativas del sector agropecuario en el país y cubrió 25 departamentos. Para tal fin se utilizaron los datos del Marco de Áreas de la Encuesta Nacional Agropecuaria, construido en un proceso de más de diez años con base en información del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y otras entidades públicas y privadas. Las áreas de la Encuesta Nacional Agropecuaria delimitan las grandes regiones naturales del país, dividiéndolo en unidades primarias de muestreo (UPM) y caracterizándolas con el piso térmico, el tipo de cultivos predominantes y la intensidad de uso del suelo, además del tamaño de los predios.

En lo que respecta a la selección de los tratamientos (beneficiarios) y los controles (no beneficiarios) incluidos en la muestra, los tratados son escogidos de manera probabilística por conglomerados estratificados. Por otro lado, los controles fueron elegidos de manera no probabilística, en particular por pareo dirigido a productores ubicados en los mismos municipios de la muestra de tratamientos o municipios vecinos con características observables similares a los de los productores tratados.

Con el propósito de captar posibles externalidades espaciales derivadas del programa sobre unidades productivas no beneficiarias próximas a productores tratados, los controles fueron divididos en dos grupos: i) control cercano y ii) control distante.

Se define como control cercano a un productor que: 1) se encuentra ubicado en el mismo municipio y vereda que uno de los productores que componen la muestra de tratamiento; 2) sea similar en términos de tamaño, producto y extensión de la propiedad, entre otros, y (3) conozca e interactúe con el productor tratado. Por su parte, los controles distantes cumplen las mismas condiciones que los controles cercanos, a diferencia de que estos no conocen ni interactúan con alguno de los productores que están recibiendo el tratamiento.

El Cuadro 1 desagrega la muestra de base de datos de AIS por tamaños de productores de acuerdo al valor de los activos en el momento de acceso al programa⁶.

Cuadro 1
Muestra de base de datos AIS por tamaño de productores

Tamaño	Beneficiarios		Controles	
	LB (2008)	Seguimiento (2010)	LB (2008)	Seguimiento (2010)
Pequeños	1.441	1.181	3.649	3.214
Medianos	610	512	724	702
Grandes	199	172	86	141
Total	2.250	1.865	4.459	4.057

Fuente: Unión temporal Econometría Consultores - SEI

La información utilizada para la estimación corresponde a una muestra constituida por un panel de datos balanceado⁷ que cumple de manera simultánea las siguientes tres condiciones:

⁶ Con el propósito de cruzar este criterio con el basado en el tamaño de las unidades de producción agropecuarias (UPA), se tomaron veinte municipios de la muestra, de manera aleatoria, y se clasificaron por tamaños de acuerdo con las definiciones dadas por el Decreto 1133 de 2013. Se encontró que el 96,6% de los productores que se consideraron pequeños según el criterio aplicado en AIS, también lo eran bajo el criterio de tamaño de las UPA.

⁷ Aunque la metodología empírica utilizada en este informe permite obtener estimaciones para paneles desbalanceados, este procedimiento tiene implicaciones sobre la eficiencia de los estimadores obtenidos.

- Se tienen Unidades de Producción Agropecuaria (UPA) que reportan, como producto principal, el que corresponde al grupo de interés.
- Son UPA que se mantuvieron en la muestra ambos periodos.
- Son UPA que reportaron haber obtenido producción en el periodo de análisis.

El Cuadro 2 describe los cinco grupos de productos para los cuales se hizo el ejercicio y los productos que hacen parte de cada grupo, especificando la participación por producto en cada grupo de acuerdo al número de productores y la participación de cada producto dentro de la muestra completa.

Cuadro 2
Grupos de productos: composición por productos^a
(porcentaje)

Transformables	Básicos	Frutales	Ganadería de leche	Café
Caña (44,5)	Plátano (32,7)	Mora (15,3)		
Cacao (39,9)	Maíz (27,7)	Aguacate (10,4)		
Tabaco (7,3)	Yuca (14,4)	Naranja (8,0)		
Fique (4,2)	Frijol (12,9)	Limón (7,9)		
Trigo (1,6)	Papa (12,3)	Mango (7,6)		
Caucho (1,3)	Ñame (0,1)	Banano (7,4)		
Algodón (1,1)		Guayaba (7,3)		
		Maracuyá (6,3)		
		Mandarina (5,1)		
		Piña (4,1)		
		Lulo (3,8)		
		Curuba (3,4)		
		Granadilla (2,5)		
		Pera (2,0)		
		Otros ^b		
Participación porcentual del producto en la muestra total				
15,5	11,1	12,1	25,9	35,4

a/ En paréntesis se muestra la participación del producto en el grupo (porcentaje de productores).

b/ Con participación individual menor a 2 por ciento: uva, guanábana, ciruela, durazno, papaya, pitaya y arazá.

Fuente: cálculo de los autores.

El Cuadro 3 desagrega esta muestra por grupos de productos y tamaños de productores. En particular, se definen tres clasificaciones con base en el área destinada por la UPA a la actividad productiva de interés. La primera clasificación incluye todos aquellos productores que dedican diez o menos hectáreas a la actividad de interés; la segunda, más de diez y menos de veinte hectáreas, y finalmente los que dedican más de veinte hectáreas.

Cuadro 3
Grupos de productos por tamaño de productores
(porcentaje)

	10 hectáreas o menos	Entre 10 y 20 hectáreas	Más de 20 hectáreas
Transformables	89,3	3,6	7,1
Básicos	97,5	1,4	1,1
Frutales	94,1	1,0	4,9
Café	92,4	4,1	3,6
Ganadería de Leche	55,6	14,0	30,5

Fuente: cálculos propios.

Se observa que para todos los grupos de productos, con excepción de la ganadería de leche, los productores que dedican veinte hectáreas o menos a la actividad de interés representan más del 90% de la muestra. En especial, para los grupos de básicos y transformables, los productores que dedican diez o menos hectáreas a la actividad de interés representan el 97% y 94% de la muestra, respectivamente. Como era de esperarse, el grupo de ganadería de leche es el que tiene mayor participación de productores que dedican veinte hectáreas o más a esta actividad (30,5%).

Por lo tanto, se puede afirmar que el conjunto de productores utilizado para la realización del ejercicio de frontera estocástica y determinantes de la ineficiencia técnica es bastante homogéneo en términos del tamaño de área dedicada a la actividad principal (de interés), con una participación mayoritaria por parte de aquellos productores que dedican diez o menos hectáreas a ella.

El Anexo 1 describe la distribución de los productores por departamento para cada uno de los grupos de productos.

3. EL MODELO Y RESULTADOS

La especificación del modelo requiere establecer tanto las variables que hacen parte de la frontera de producción estocástica, de cuya estimación se deriva el cálculo de las brechas tecnológicas o niveles relativos de ineficiencia, como las variables que estarían asociadas con dichas brechas de eficiencia.

En este estudio se incluyen como argumentos de la frontera de producción los factores e insumos que entran en el proceso productivo y cuya utilización depende de decisiones óptimas de los productores, al tiempo que se incluyen como determinantes de los niveles de eficiencia un conjunto de variables de entorno productivo (disponibilidad de agua, calidad de la tierra o cantidad de lluvia), variables de política (acceso a material genético mejorado, crédito, asistencia técnica y capacitación), y variables vinculadas a la asociatividad, como acuerdos para la comercialización de los productos o la coordinación entre los productores en la etapa de siembra.

Hay una discusión no zanjada aún en la literatura sobre las variables que se deben incluir en la estimación de la frontera estocástica de producción y las que se deben incluir

como determinantes. Aunque desde un concepto de eficiencia ligada exclusivamente a temas de gestión empresarial las variables de entorno deberían ser incluidas en la función de producción, estas no tienen obviamente el mismo carácter que los insumos sobre los cuales los productores toman decisiones óptimas. Por lo tanto se plantea en este caso una distinción sutil entre ‘eficiencia’ y ‘productividad’ y de factores que afectan la productividad pero no la eficiencia⁸. Para propósitos prácticos, este problema es mitigado por la metodología que se utiliza en este estudio, en dos sentidos: 1) como se indicó en la sección 1, la metodología de Battese y Coelli (1995) hace una estimación conjunta de la frontera estocástica y los determinantes de la ineficiencia; 2) los resultados de la estimación son informativos desde el punto de vista de la política, ya que permiten ver hasta qué punto las variables de política pueden compensar o no la existencia de variables de entorno adverso.

3.1 Especificación de la frontera de producción estocástica

Con el fin de estimar las fronteras de producción estocástica se utilizan dos formas funcionales para la ecuación correspondiente al modelo de producción⁹:

$$\ln \text{producto}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln \text{área}_{it} + \beta_2 \ln \text{trabajo_C}_{it} + \beta_3 \ln \text{trabajo_H}_{it} + \dots \\ \dots + \beta_4 \ln \text{Insumos}_{it} + \beta_4 \ln \text{Maquinaria}_{it} + v_{it} - u_{it} \quad (7)$$

$$\ln \text{producto}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln \text{área}_{it} + \beta_2 \ln \text{trabajo_C}_{it} + \beta_3 \ln \text{trabajo_H}_{it} + \beta_4 \ln \text{Insumos}_{it} + \dots \\ \beta_5 \ln \text{Maquinaria}_{it} + \beta_6 (\ln \text{área})^2_{it} + \beta_7 (\ln \text{trabajo_C})^2_{it} + \\ \beta_8 (\ln \text{trabajo_H})^2_{it} + \dots \\ + \beta_9 (\ln \text{Insumos})^2_{it} + \beta_{10} (\ln \text{Maquinaria_C})^2_{it} + \dots \quad (8) \\ + \text{Productos cruzados} + v_{it} - u_{it}$$

La ecuación (7) representa la log-linealización de la función de producción Cobb-Douglas y la ecuación (8) la función de producción flexible Translogarítmica (Translog). El Cuadro 4 contiene la definición de cada una de las variables que hacen parte de la especificación de la frontera de producción estocástica¹⁰.

⁸ Tal y como lo señalan Coelli *et al.* (2005), el contexto de producción puede influenciar la habilidad de un productor para convertir insumos en productos, de ahí que estas variables de contexto deben ser integradas al modelo, ya que su omisión podría tener efectos sobre los estimadores obtenidos (Shee y Stefanou, 2014).

⁹ La posibilidad de usar la función Translog (TL) depende del número de observaciones disponibles, dado el gran número de parámetros que deben ser estimados. En el caso de algunos grupos de productos, el tamaño de muestra no permite dicha estimación y solo se utilizó la función Cobb-Douglas.

¹⁰ No existe en la literatura un consenso acerca de las unidades en las que se debe establecer cada una de las variables introducidas en el modelo de la frontera de producción. Aunque es común que los factores de producción se expresen en cantidades (o en términos reales), en la literatura también se utilizan los insumos en términos monetarios (ver, por ejemplo, Solís, Bravo-Ureta y Quiroga, 2009). Por otro lado, el reporte de la utilización de insumos en términos de cantidades es más limitado en la base de información de AIS.

Cuadro 4
Variables del modelo de frontera

Variable	Definición
Producto ^a	Producción en kilogramos reportada por la UPA.
Área	Área utilizada en el proceso de producción medida en hectáreas.
Insumos	Pagos monetarios por los diferentes insumos utilizados en el proceso de producción medidos en pesos colombianos de 2010.
Maquinaria	Pagos monetarios por la maquinaria utilizada en el proceso de producción medidos en pesos colombianos de 2010.
Trabajo_H	Trabajo familiar medido en días hombre, utilizado en el proceso de producción.
Trabajo_C	Trabajo contratado medido en días hombre, utilizado en el proceso de producción.

a/ Para el caso de ganadería de leche el producto corresponde al número de litros de leche obtenido. Para este producto también se incluye el número de vacas lecheras como factor de producción.

Nota: todas las variables medidas en logaritmos.

Fuente: elaboración de los autores.

3.2 Especificación de los determinantes de la ineficiencia técnica

Tal cual se indicó, como determinantes de la ineficiencia técnica se incluyen diferentes variables, que se pueden agrupar en cinco grupos:

- i) Variables del hogar asociado con la UPA; específicamente, el sexo del jefe del hogar¹¹. En estudios internacionales hay evidencia sobre la existencia de discriminación de género en el acceso a la tierra, al capital y a otros insumos, que afectaría negativamente la productividad (y las medidas de eficiencia) de las unidades productivas en cabeza de mujeres (Kinkingninhoun-Médagbé *et al.*, 2010)¹².
- ii) Variables de entorno que probablemente afectan la eficiencia técnica pero que no constituyen directamente variables de política o características del hogar. Ellas son: disponibilidad de agua, calidad de la tierra y cantidad de lluvia.
- iii) Variables vinculadas con asistencia técnica y capacitación; entre ellas están el acceso a material genético mejorado, la asistencia técnica y el acceso a crédito previo (para diferenciarlo del acceso al crédito implicado por el programa de AIS).
- iv) Variables relacionadas con asociatividad, en particular coordinación con productores y/o comercializadores para la producción, y acuerdos para comercializar los productos.

¹¹ Aunque la educación del jefe de hogar puede ser determinante central de la eficiencia de una unidad productiva, problemas de codificación de esta variable en la encuesta de AIS no permitieron incorporarla en el modelo de determinantes.

¹² Para el caso colombiano, Ramírez *et al.* (2014) estudian las barreras y cuellos de botella por los cuales las mujeres rurales tienen sistemáticamente menos acceso a programas gubernamentales de crédito, formalización de tierras y programas asociativos.

- v) También se incluyen variables de acceso a servicios básicos, disponibilidad de agua e infraestructura como la existencia de beneficiadero en el caso del café. Finalmente, se incluyen variables dicótomas regionales.

La definición de cada una de estas variables se encuentra en el Cuadro 5, mientras que el Cuadro 6 muestra el valor promedio de las variables explicativas del modelo de ineficiencia para los diferentes grupos de productos.

Se observa que no hay grandes diferencias entre los grupos de productos con respecto al sexo del jefe de hogar (entre el 71% y el 78% de los hogares tienen jefatura masculina), calidad de la tierra (entre 73% y 85% reportan tener acceso a tierra de buena o excelente calidad), y cantidad de lluvia (alrededor del 40% reporta lluvia en cantidades adecuadas o suficientes, aunque en el caso de café es de solo 31%).

Cuadro 5
VARIABLES DEL MODELO DE INEFICIENCIA TÉCNICA

Grupo	Variable	Definición
Hogar	Sexo jefe	Toma el valor de 1 para aquellos hogares con jefatura masculina.
Contexto	Disponibilidad de agua	Toma el valor de 1 para las UPA's que reportan tener agua corriente o de pozo <i>suficiente o adecuada</i> para los cultivos o productos principales que desarrolla en su UPA.
	Calidad de la tierra	Toma el valor de 1 para las UPA que reportan que la calidad de la tierra para los cultivos o productos principales que desarrollan en su UPA es excelente o buena.
	Cantidad de lluvia	Toma el valor de 1 para las UPA que reportan que la cantidad de lluvia en los momentos requeridos fue suficiente o adecuada.
Asistencia y capacitación	Material genético	Toma el valor de 1 para las UPA que reportan haber comprado o recibido algún material genético o insumo especial o mejorado.
	Asistencia técnica	Toma el valor de 1 para las UPA que reportan haber tenido algún tipo de asistencia técnica durante el último año.
	Asistencia técnica previa	Toma el valor de 1 para las UPA que reportan haber tenido algún tipo de asistencia técnica durante los últimos 24 meses diferente a la señalada por la variable anterior.
	Crédito previo	Toma el valor de 1 para las UPA que reportan haber tenido acceso a algún tipo de crédito previo al programa AIS.
Asociatividad e infraestructura	Capacitación	Toma el valor de 1 para las UPA que reportan que por lo menos alguno de sus trabajadores frecuentes recibió capacitación durante el último año.
	Acuerdos	Toma el valor de 1 para las UPA que reportan tener acuerdos o contratos para la venta de sus productos.
	Coordinación	Toma el valor de 1 para las UPA que reportan coordinarse con otros productores y/o comercializadores para el proceso de siembra.
	Beneficiadero	Toma el valor de 1 para las UPA's que reportan tener dentro de su estructura un beneficiadero.
	Acceso servicios	Toma el valor de 1 para las UPA's que reportan tener acceso a servicios básicos para el procesamiento de sus productos.

a/ Se incluyen variables dicotómicas para identificar las UPAs ubicadas en las regiones Caribe, Pacífica, Orinoquía, Amazonía y Andina.

Fuente: elaboración de los autores.

Las condiciones promedio también son similares en el caso de acceso previo a crédito (entre el 64% y el 73% de los productores), disponibilidad de agua (entre 54% y 68%), uso de material genético (entre 11% y 20% de los productores), asistencia técnica previa donde los porcentajes de acceso son bastante bajos (entre 3% y 13%, éste último caso para café), y coordinación con productores o comercializadores para el proceso de siembra (entre 23% y 29% reportaron tener este tipo de coordinación).

Cuadro 6
Determinantes de la eficiencia técnica-estadísticas descriptivas
(porcentaje)

Variable	Transformables		Básicos		Frutales		Ganadería de leche		Café	
	Media	D.E.	Media	D.E.	Media	D.E.	Media	D.E.	Media	D.E.
Sexo jefe	0,74	0,44	0,78	0,42	0,71	0,45	0,74	0,44	0,76	0,43
Disponibilidad de agua	0,67	0,47	0,60	0,49	0,68	0,47	0,54	0,50	0,64	0,47
Calidad de la tierra	0,79	0,41	0,73	0,45	0,85	0,36	0,64	0,48	0,83	0,38
Cantidad de lluvia	0,45	0,50	0,43	0,50	0,40	0,49	0,42	0,49	0,31	0,46
Material genético	0,18	0,38	0,14	0,35	0,11	0,32	0,20	0,40	0,17	0,38
Asistencia técnica	0,44	0,50	0,29	0,45	0,38	0,49	0,36	0,48	0,49	0,50
Asistencia técnica previa	0,08	0,26	0,05	0,22	0,06	0,24	0,03	0,18	0,13	0,34
Crédito previo	0,69	0,46	0,64	0,48	0,71	0,45	0,72	0,45	0,73	0,45
Capacitación	0,39	0,49	0,28	0,45	0,23	0,42	0,26	0,44	0,19	0,39
Acuerdos	0,22	0,41	0,22	0,41	0,25	0,43	0,35	0,48	0,17	0,37
Coordinación	0,26	0,44	0,23	0,42	0,29	0,45	0,26	0,44	0,26	0,44
Acceso servicios	0,36	0,48	0,19	0,39	0,21	0,41	0,14	0,34	0,68	0,47
Venta comercializador					0,11	0,32				
Beneficiadero									0,40	0,49

Nota: para la descripción de los productos en cada grupo, véase Cuadro 2. D.E.: Desviación Estándar.

Fuente: cálculos propios con base en datos de AIS.

Las diferencias son mayores en el caso de asistencia técnica, ya que los menores porcentajes de acceso están en productos básicos (29%) y los mayores en café (49%). En acceso a capacitación sobresale el grupo de transformables (39%), y curiosamente el menor es en café (19%); este último sector, sin embargo, se destaca por el acceso a servicios básicos para el procesamiento de los productos (68%).

En acuerdos de venta sobresale el sector ganadería de leche (35% de los productores reportaron tener acuerdos o contratos para la venta de los productos).

A pesar de las similitudes y diferencias entre los grupos de productos, el hecho más destacable es, quizás, la alta dispersión en la muestra: las desviaciones estándar son significativamente altas en todos los casos, lo cual significa que las medias de las variables no reflejan adecuadamente la situación de los productores en términos de las variables explicativas de la ineficiencia. Este hecho se verá reflejado en los resultados de las estimaciones en eficiencia técnica y distribución de los productores por niveles de eficiencia relativa, como se verá en la siguiente sección.

3.3 Resultados

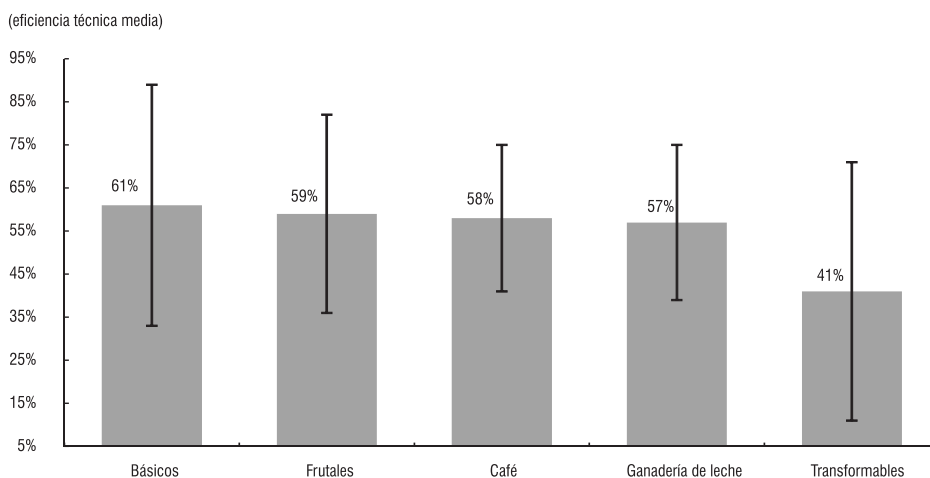
El Anexo 2 reporta los resultados de estimación de las fronteras de producción. Se destaca la significancia del área, el uso de insumos y el trabajo contratado, en todos los grupos de productos, y con los signos esperados (en la estimación con la función Cobb-Douglas). El uso de maquinaria y el trabajo familiar solo son significativos en algunos casos y no siempre con los signos esperados.

El Gráfico 2 muestra la media de eficiencia técnica en cada uno de los grupos (usando la especificación Cobb-Douglas), así como la dispersión de la eficiencia. En este caso la línea muestra los rangos de eficiencia relativa, que se encuentra dentro de una desviación estándar por encima y por debajo de la media.

Como se observa, en cuatro de los cinco grupos la eficiencia promedio se encuentra entre 57% y 61% con respecto a la frontera de eficiencia. En el caso de productos transformables¹³, los niveles de eficiencia relativa son significativamente menores (41%).

Los productos transformables son también los que tienen la mayor dispersión en términos de eficiencia: en una desviación estándar en torno a la media se encuentran productores con niveles de eficiencia relativa entre 10% y 75%. El grado de dispersión de los niveles de eficiencia es también alto en la producción de productos básicos, donde los rangos de eficiencia en torno a la media (una desviación estándar) están entre 35% y 90%. La dispersión relativa de los niveles de eficiencia son menores en café y ganadería de leche¹⁴.

Gráfico 2
Eficiencia técnica media y dispersión de la eficiencia por grupo de productos^{a/}



a/ Para la descripción de los productos en cada grupo ver Tabla 1.
Fuente: cálculos de los autores.

¹³ Incluyen principalmente caña y cacao; en menor medida, tabaco, fique, trigo, caucho y algodón.

¹⁴ Estos dos productos son más homogéneos en la medida en que se refieren al mismo producto, si bien puede haber diferencias en términos de variedades o regiones.

Por otro lado, el Cuadro 7 muestra los resultados de la estimación de los determinantes en los niveles de ineficiencia por grupos de productos. Es importante resaltar que los estimadores obtenidos se interpretan con respecto a la ineficiencia técnica, es decir, un signo negativo se interpreta como una asociación negativa entre el determinante y la ineficiencia técnica, de tal manera que un mayor nivel de este determinante está relacionado con un menor nivel de ineficiencia técnica.

Cuadro 7
Modelo de determinantes de la ineficiencia técnica

Variable	Transformables	Básicos	Frutales	Café	Ganadería de leche
Sexo jefe	-0,377* (0,204)	-0,148 (0,274)	0,245 (0,27)	-0,125* (0,068)	-2,067 (1,587)
Disponibilidad de agua	0,224 (0,192)	-0,407 (0,253)	-0,523** (0,219)	-0,012 (0,124)	0,95 (1,525)
Calidad de la tierra	0,14 (0,203)	-0,382* (0,216)	-0,375 (0,321)	-0,024 (0,111)	-3,578** (1,757)
Cantidad de lluvia	-0,388** (0,159)	-0,306* (0,171)	0,587** (0,232)	-0,230** (0,109)	1,921 (1,416)
Material genético	-0,667*** (0,191)	-1,671*** (0,617)	-0,101 (0,399)	0,081 (0,123)	-5,746** (2,456)
Asistencia técnica	-0,086 (0,203)	-0,487*** (0,206)	0,152 (0,252)	0,021 (0,1)	-3,194* (1,901)
Asistencia técnica previa	-0,683*** (0,259)	0,586 (0,506)	0,38 (0,477)	-0,253* (0,14)	2,364 (2,63)
Crédito previo	-0,400** (0,17)	-0,097 (0,256)	0,241 (0,258)	-0,219* (0,123)	-3,628** (1,481)
Capacitación	-0,476*** (0,175)	0,379 (0,324)	-0,850** (0,36)	0,023 (0,125)	-0,769 (1,878)
Acuerdos	-0,476** (0,242)	-0,025 (0,311)	-0,626* (0,356)	0,081 (0,129)	-5,341*** (1,881)
Coordinación	0,243 (0,191)	-0,733* (0,415)	-0,2 (0,278)	-0,544*** (0,155)	-0,721 (2,072)
Acceso servicios	0,029 (0,167)	0,273 (0,272)	-0,397 (0,366)	-0,656*** (0,136)	-3,384 (2,861)
Venta a comercializador			-1,274** (0,564)		
Beneficiadero				-0,219* (0,122)	

Nota: para la descripción de los productos en cada grupo ver Cuadro 1
Fuente: cálculos de los autores.

A continuación se hace un análisis de los principales resultados:

El signo de la variable “sexo del jefe de hogar” sugiere que los niveles de ineficiencia tienden a ser menores en hogares donde el jefe de hogar es hombre. Sin embargo, esta asociación es significativa solamente en el caso de transformables y café. El coeficiente es positivo (mayor ineficiencia asociada con jefatura del hogar masculina) en frutales, pero no es estadísticamente significativo.

Las variables de “entorno” contribuyen a reducir la medida de ineficiencia, como se esperaría: la “calidad de la tierra” está negativamente asociada a la medida de ineficiencia en el caso de productos básicos y ganadería de leche, y la “cantidad de lluvia” (‘adecuada’ en concepto de los productores) reduce la distancia a la frontera de eficiencia en la producción de transformables, básicos y café. En el caso de frutales el signo es estadísticamente significativo, pero en dirección contraria a la esperada.

Entre los componentes de asistencia técnica y capacitación, el “acceso a material genético” contribuye a reducir la ineficiencia técnica en transformables, básicos y ganadería de leche. El acceso a “asistencia técnica” durante el período o a la “asistencia técnica previa” contribuye a reducir la ineficiencia en todos los grupos de productos excepto frutales, donde los signos van en dirección contraria a la esperada pero no son significativos.

Con respecto a las variables de asociatividad, la existencia de “acuerdos o contratos” para la venta de los productos, o “acuerdos de coordinación” con otros productores y/o comercializadores para el proceso de siembra, contribuyen a reducir la ineficiencia en todos los grupos de productos. En el caso de frutales, las “ventas a comercializadores” también desempeñan un papel significativo en la reducción de la ineficiencia técnica.

Finalmente, el “acceso a servicios básicos” está asociado con menores niveles de ineficiencia en el caso del café, al igual que la existencia de “beneficiaderos”. Dentro de este grupo de variables la disponibilidad de agua reduce los niveles de ineficiencia de manera estadísticamente significativa en el caso de frutales.

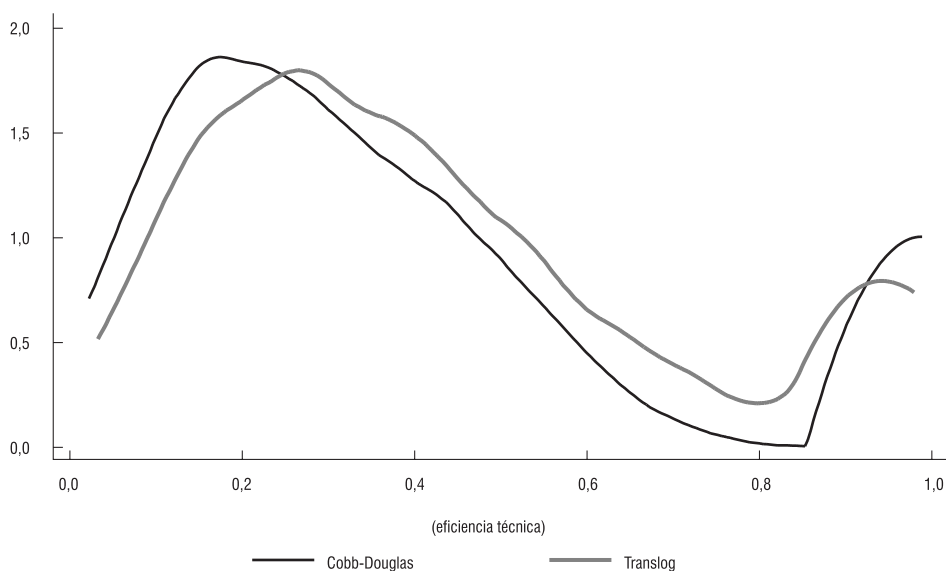
A continuación se presentan algunos resultados adicionales por grupos de productos, especificando en cada caso la estimación de los niveles promedio de eficiencia técnica y la distribución de los productores por rangos de eficiencia.

3.3.1 Transformables¹⁵

Como se muestra en el Anexo 1, los departamentos con mayor presencia de productores de productos transformables son Santander, Boyacá y Nariño, que comprenden el 48% de la muestra. El Gráfico 3 muestra las distribuciones y estadísticas descriptivas de las medidas de eficiencia, así como la distribución de la ineficiencia técnica por rangos.

¹⁵ Incluyen caña, cacao, tabaco, fique, trigo, frijol y algodón (Cuadro 2).

Gráfico 3
Transformables: distribución de la eficiencia técnica



Especificaciones	Observaciones	Media	D.E.	Min	Max
Cobb-Douglas	886	0,410	0,306	0,022	0,989
Translog	886	0,423	0,268	0,033	0,978
	Eficiencia técnica (porcentaje)	Cobb-Douglas (porcentaje)	Translog (porcentaje)		
	Mayor a 75	17,80	13,70		
	Entre 50 y 75	10,20	14,60		
	Entre 25 y 50	37,60	44,90		
	Menor a 25	34,40	26,90		

Nota: para la descripción de los productos en cada grupo, véase el Cuadro 1. D.E.: Desviación Estándar. Fuente: cálculos de los autores.

La distribución de la eficiencia técnica relativa muestra una característica bimodal, en que el 18% de los productores (en la estimación Cobb-Douglas) se encuentra en el rango mayor al 75% de eficiencia. La mayor parte de los productores (72%), sin embargo, se ubica en rangos de eficiencia inferiores al 50%¹⁶.

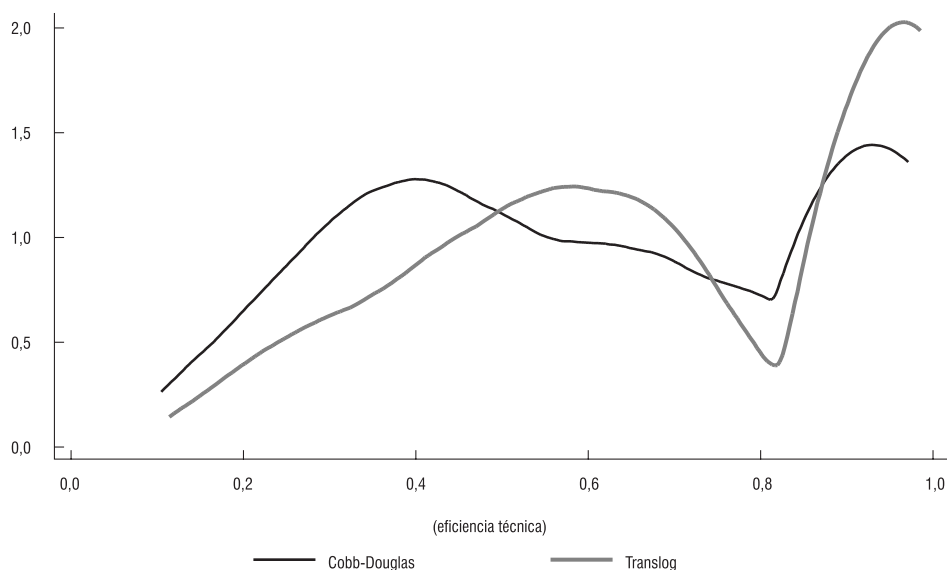
¹⁶ Para estimaciones de eficiencias técnicas medias y sus determinantes en la producción de cacao en Camerún, Ghana y Nigeria (ver Binam, Gockwoski y Nikamelu, 2008). Oren y Alemda (2006) estiman la eficiencia técnica media para la producción de tabaco en la península de Anatolia.

3.3.2 Productos básicos¹⁷

Como se muestra en el anexo, los departamentos con mayor presencia de productores de productos básicos son Nariño, Antioquia y Boyacá, que comprenden el 40% de la muestra.

El Gráfico 4 muestra las distribuciones y estadísticas descriptivas de las medidas de eficiencia, así como la distribución de la ineficiencia técnica por rangos.

Gráfico 4
Básicos: distribución de la eficiencia técnica



Especificaciones	Observaciones	Media	D.E.	Min	Max
Cobb-Douglas	638	0,617	0,274	0,106	0,983
Translog	638	0,687	0,258	0,115	0,984
	Eficiencia técnica (porcentaje)	Cobb-Douglas (porcentaje)	Translog (porcentaje)		
	ET >= 75	42,6	42,5		
	ET >= 50 & ET < 75	17,6	30,9		
	ET >= 25 & ET < 50	30,4	20,5		
	ET > 0 & ET < 25	9,4	6,1		

Nota: para la descripción de los productos en cada grupo véase Cuadro 1. D.E.: Desviación Estándar.
Fuente: cálculos de los autores.

¹⁷ Incluyen plátano, maíz, yuca, frijol, papa y ñame (ver Cuadro 2).

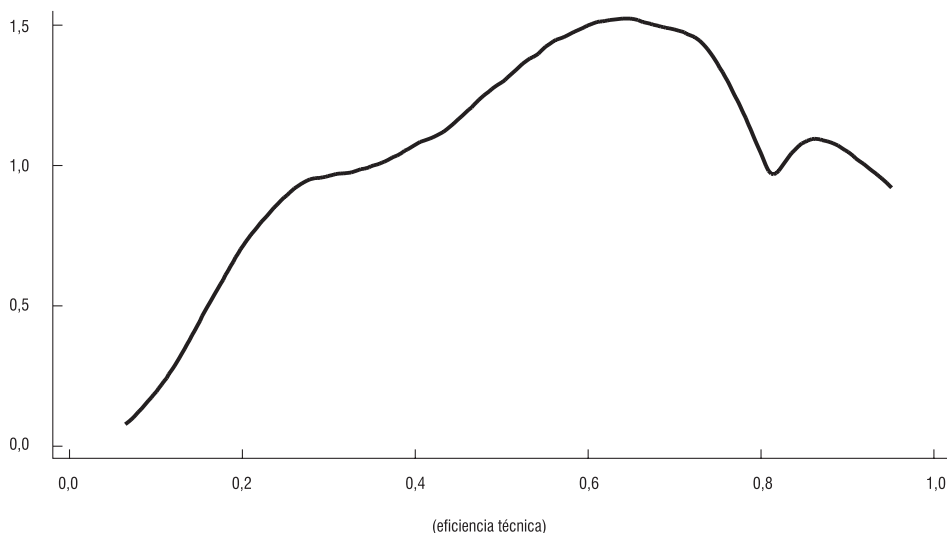
También en este caso la distribución de la eficiencia técnica relativa muestra una característica ‘bimodal’, pero con mayor participación de los productores en el nivel de eficiencia alta. En efecto, el 43% de los productores (con la estimación Cobb-Douglas) se encuentran en el rango mayor al 75% de eficiencia. De hecho, alrededor del 60% de los productores se encuentra en los rangos mayores al 50% en la especificación Cobb-Douglas, con un número mayor (73%) para el caso de la Translog¹⁸.

3.3.3 Frutales¹⁹

Los departamentos con mayor presencia de productores de frutales son Santander, Magdalena, Boyacá y Tolima, que comprenden el 44% de la muestra (Anexo 1).

El Gráfico 5 muestra la distribución y estadísticas descriptivas de la medida de eficiencia, así como la distribución de la ineficiencia técnica por rangos. La distribución de la eficiencia técnica relativa muestra una forma irregular, en la que el 31% de los productores se encuentra en el rango mayor al 75% de eficiencia. Por otro lado, el 34% de los productores se encuentra por debajo del 50% de ineficiencia técnica²⁰.

Gráfico 5
Frutales: distribución de la eficiencia técnica



¹⁸ Bonabona-Wabbi *et al.* (2009) estiman la eficiencia técnica media y sus determinantes para la producción de papa en Uganda, y Salau, Adewumi y Omotesho (2012) para la producción de maíz en Nigeria. Sibiko *et al.* (2013), por su parte, lo hacen para la producción de frijón en el sur de Uganda.

¹⁹ Incluyen principalmente mora, aguacate, naranja, limón, mango, banano, guayaba, maracuyá, mandarina, piña, lulo, curuba, granadilla y pera (ver Cuadro 2).

²⁰ Dehibi *et al.* (2007) estiman la eficiencia en la producción de cítricos en Túnez. Hassine (2007) estudia la eficiencia técnica en la producción de frutas en España, Egipto y Argelia.

Especificaciones	Observaciones	Media	D.E.	Min	Max
Cobb-Douglas	694	0,594	0,231	0,067	0,955
	Eficiencia técnica (porcentaje)	Cobb-Douglas (porcentaje)			
	ET >= 75	31,0			
	ET >= 50 & ET < 75	35,0			
	ET >= 25 & ET < 50	26,0			
	ET > 0 & ET < 25	8,0			

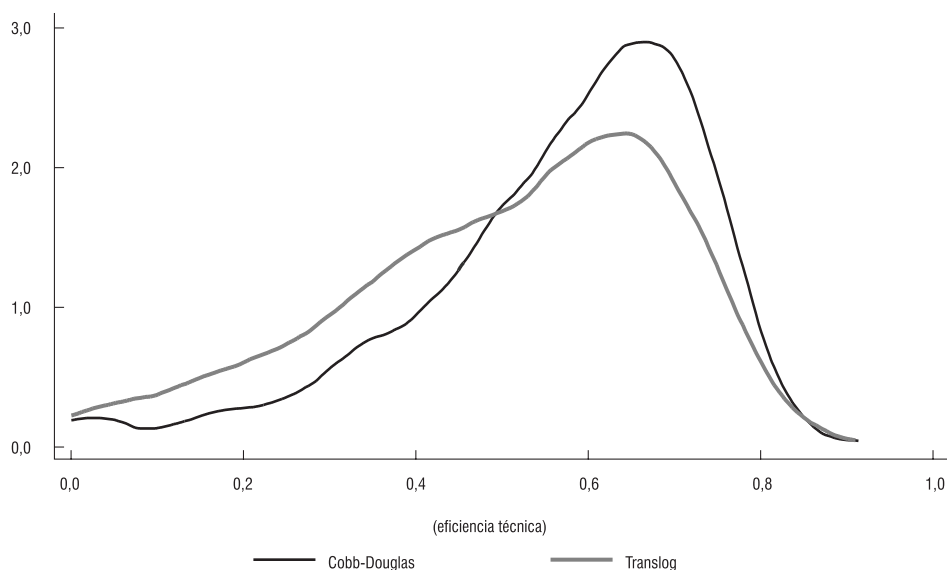
Nota: para la descripción de los productos en cada grupo véase Cuadro 1. D.E.: Desviación Estándar.
Fuente: cálculos de los autores.

3.3.4 *Café*

Los departamentos con mayor presencia de productores cafeteros son Huila, Nariño y Antioquia, que comprenden el 48% de la muestra (Anexo 1).

El Gráfico 6 muestra las distribuciones y estadísticas descriptivas de las medidas de eficiencia, así como la distribución de la ineficiencia técnica por rangos.

Gráfico 6
Café: distribución de la eficiencia técnica



Especificaciones	Observaciones	Media	D.E.	Min	Max
Cobb-Douglas	2.026	0,582	0,169	0,044	0,902
Translog	2.026	0,605	0,170	0,019	0,934
	Eficiencia técnica (porcentaje)	Cobb-Douglas (porcentaje)	Translog (porcentaje)		
	ET >= 75	5,80	5,60		
	ET >= 50 & ET < 75	61,50	63,90		
	ET >= 25 & ET < 50	28,40	26,50		
	ET > 0 & ET < 25	4,30	4,00		

Nota: para la descripción de los productos en cada grupo véase Cuadro 1. D.E.: Desviación Estándar.
Fuente: cálculos de los autores.

Se puede observar que, a diferencia de los otros grupos, la forma de la distribución es mucho más suave y en ambos casos (Cobb-Douglas y Translog) se encuentra concentrada alrededor del 60%. En particular, en ambas especificaciones, cerca del 62% de los productores se encuentran en un rango de eficiencia técnica del 50% al 75%²¹.

Los anteriores resultados sugieren, por lo tanto, que existe ineficiencia técnica en la producción cafetera colombiana. El productor promedio presenta una eficiencia relativa de alrededor de 60% con respecto al productor más eficiente, señalando que existe espacio para una ampliación productiva en el sector sin necesidad de introducir un cambio tecnológico significativo²².

3.3.5 Ganadería de leche

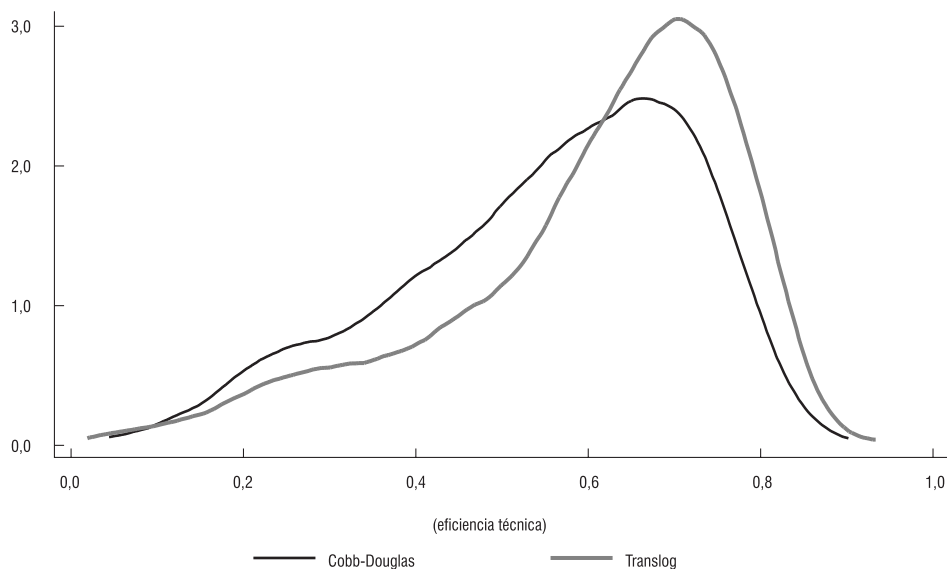
Como se muestra en el Anexo 1, los departamentos con mayor presencia de productores de ganadería de leche son Boyacá, Antioquia y Cundinamarca, que comprenden el 45% de la muestra. El Gráfico 7 muestra las distribuciones y estadísticas descriptivas de las medidas de eficiencia, así como la distribución de la ineficiencia técnica por rangos²³.

²¹ Quoc Ho, Yanagida e Illukpitiya (2014) estiman la eficiencia técnica en la producción cafetera de Vietnam, y sus determinantes. Staacke *et al.* (2012) comparan la eficiencia técnica de los productores tradicionales de café, y de los de café orgánico en Nicaragua.

²² Este resultado coincide con los hallazgos de Perdomo y Hueth (2011) sobre la producción cafetera en Colombia, pero difiere en la magnitud: la eficiencia técnica del pequeño productor promedio estimada por estos autores es de alrededor del 70%. La diferencia con respecto al resultado obtenido en este informe se puede explicar por la dimensión de panel con la que se cuenta en este caso, a lo que se suma que la muestra es mucho más heterogénea en términos de localización de los productores, mientras que el estudio de Perdomo y Hueth (2011) se concentra en los productores de café de la Región Cafetera (Caldas, Quindío y Risaralda).

²³ Moreira *et al.* (2006) estiman la eficiencia técnica en la ganadería de leche en Argentina, y Kirner, Ortner y Hambrusch (2007) en la ganadería de leche en Austria. Uzmay, Koyubenbe y Armagan (2009) estudian los determinantes de la eficiencia técnica en la producción de leche.

Gráfico 7
Ganadería de leche: distribución de la eficiencia técnica



Especificaciones	Observaciones	Media	D. E.	Min	Max
Cobb-Douglas	1.486	0,565	0,169	0,000	0,911
Translog	1.486	0,505	0,179	0,000	0,895
	Eficiencia técnica (porcentaje)	Cobb-Douglas (porcentaje)	Translog (porcentaje)		
	ET > = 75	8,3	4,8		
	ET > = 50 & ET < 75	64,5	52,9		
	ET > = 25 & ET < 50	21,4	32,5		
	ET > 0 & ET < 25	5,8	9,8		

Nota: para la descripción de los productos en cada grupo ver Cuadro 1. D.E.: Desviación Estándar.
Fuente: cálculos de los autores.

4. CONCLUSIONES

En este estudio se estimaron las medidas de eficiencia técnica en la producción de diferentes bienes agrícolas y de leche en Colombia a partir de la estimación de fronteras de producción estocásticas. Asimismo, se identificó la posible asociación entre los niveles de eficiencia y un conjunto de variables del entorno productivo (disponibilidad de agua, calidad de la tierra y cantidad de lluvia), variables de política (acceso a material genético mejorado, crédito, asistencia técnica y capacitación), y variables vinculadas a la asociatividad que incluyen acuerdos para la comercialización de los productos o la coordinación entre los productores en la etapa de siembra.

Para la estimación econométrica se utilizó una muestra de productores que se beneficiaron del programa Agro Ingreso Seguro entre 2008 y 2010.

Con el fin de obviar los problemas econométricos asociados a la estimación de determinantes de la ineficiencia técnica como un proceso en dos etapas, en este estudio se adoptó la metodología de Battese y Coelli (1995), que permite la estimación conjunta del grado de asociación de las variables de interés con las medidas de eficiencia técnica extraídas del modelo de frontera estocástica.

Aunque esta metodología no corrige por posibles sesgos de selección asociados al diseño y asignación de los beneficios del programa Agro Ingreso Seguro, es adecuada para alcanzar los objetivos del estudio, como son la estimación de la eficiencia técnica y su relación con diversas variables que plausiblemente la afectan, en particular con variables de política.

Los resultados muestran que existe un considerable nivel de ineficiencia técnica en la producción agropecuaria en Colombia, que va desde 41% de eficiencia promedio con respecto a la frontera en la producción de productos transformables (principalmente caña y cacao), hasta 61% en la producción de productos básicos (plátano, maíz, yuca, fríjol, papa). Por lo tanto, existe un margen considerable para impulsar procesos de expansión productiva y mayor productividad con implicaciones en el bienestar de los productores, que constituirían ganancias tempranas frente a procesos probablemente más complejos asociados con la introducción de cambios tecnológicos significativos (Bravo-Ureta y Pinheiro, 1993).

Los resultados de las variables asociadas a los niveles de eficiencia muestran que, en general, estas varían según el tipo de producto. Sin embargo, se encuentra que el acceso a “asistencia técnica” durante el período o la “asistencia técnica previa” contribuyen a reducir la ineficiencia en todos los grupos de productos excepto frutales, donde no se encuentra un efecto significativo. Por otro lado, el “acceso a material genético” contribuye a reducir la ineficiencia técnica en transformables, básicos y ganadería de leche.

Con respecto a las variables de asociatividad, la existencia de “acuerdos o contratos” para la venta de los productos, o “acuerdos de coordinación” con otros productores y/o comercializadores para el proceso de siembra, contribuyen a reducir la ineficiencia en todos los grupos de productos. En el caso de frutales, las “ventas a comercializadores” también desempeñan una función significativa en la reducción de la ineficiencia técnica.

Finalmente, la magnitud de los coeficientes estimados sugiere que un entorno adverso (baja calidad de la tierra o inadecuada cantidad de lluvias) podría ser ‘compensada’ por variables de política que contribuyan a mejorar la eficiencia de los productores, como las ya señaladas.

A modo de agenda hacia el futuro, y con miras al diseño de evaluaciones de impacto en diferentes programas que benefician a grupos particulares de productores, como los de asistencia técnica agropecuaria, capacitación o asociatividad, sería conveniente incorporar las metodologías que combinan técnicas de evaluación de impacto con técnicas de estimación de fronteras estocástica, de acuerdo con los trabajos de Bravo-Ureta *et al.* (2012) y González-Flores *et al.* (2014). Los resultados de estos análisis permitirán identificar las intervenciones que son más eficaces para mejorar la productividad y los ingresos de los productores y que deberían ser susceptibles, por lo tanto, de una mayor escalabilidad.

REFERENCIAS

- Aigner, D.; Lovell, C.; Schmidt, P. (1977). "Formulation and estimation of stochastic frontier production function models", *Journal of Econometrics*, vol. 6, pp. 21-37.
- Aigner, D. J.; Chu, S. F. (1968). "On estimating the industry production function", *American Economic Review*, núm. 58, pp. 826-839.
- Alene, A. (2003). "Improved production technology and efficiency of smallholder farmers in Ethiopia: Extended parametric and non-parametric approaches to production efficiency analysis", mimeo.
- Baltagi, B. H. (2005). *Econometric Analysis of Panel Data*, Chichester: Wiley.
- Battese, G.; Coelli, T. (1995) "A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data", *Empirical Economics*, vol. 20, pp. 325-332.
- Battese, G. E. (1992). "Frontier Production Functions and Technical Efficiency: A Survey of Empirical Applications in Agricultural Economics", *Agricultural Economics*, núm. 7, pp. 185-208.
- Battese, G. E.; Coelli, T. J. (1995). "A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data", *Empirical Economics*, núm. 20, pp. 325-332.
- Battese, G. E.; Coelli, T. J.; Colby, T. C. (1989). "Estimation of Frontier Production Functions and the Efficiencies of Indian Farms Using Panel Data from ICRISAT's Village Level Studies", *Journal of Quantitative Economics*, núm. 5, pp. 327-348.
- Binam, J. N.; Gockwoski, J.; Nikameli, G. B. (2008). "Technical efficiency and productivity potential of cocoa farmers in west african countries", *The Developing Economies*, vol. 46, núm. 3, pp. 242-263.
- Bonabana-Wabbi, J.; Mugonola, B.; Ajibo, S.; Kirinya, J.; Kato, E.; Kalibwani, R.; Kasenge, V., et al. (2009). "Agricultural profitability and technical efficiency: the case of pineapple and potato in SW Uganda", *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, vol. 8, núm. 3, pp. 145-159.
- Bravo-Ureta, B. (2014). "Stochastic frontiers, productivity effects and development projects", *Economics and Business Letters*, vol. 3, núm. 1, pp. 51-58.
- Bravo-Ureta, B.; Pinheiro, A. (1993). "Efficiency analysis of developing country agriculture: A review of the frontier function literature", *Agricultural and Resource Economics Review*, vol. 22, pp. 88-101.
- Bravo-Ureta, B. E.; Rieger, L. (1991). "Dairy Farm Efficiency Measurement Using Stochastic Frontiers and Neoclassical Duality", *American Journal of Agricultural Economics*, núm. 73, pp. 421-428.
- Coelli, T. J.; Rao, P. D.; O'Donnell, C. J.; Battese, G. E. (2005). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, segunda edición, Springer.
- De Haen, H.; Runge-Metzger, A. (1989). "Improvements in efficiency and sustainability of traditional land use systems through learning from farmers' practice", *Quarterly Journal of International Agriculture*, vol. 28, núms. 3-4, pp. 326-350.

- Dhehibi, B.; Lachaal, L.; Elloumi, M.; Messaoud, A. (2007). "Measuring irrigation water use efficiency using stochastic production frontier: an application on citrus producing farms in Tunisia", *AfJARE*, vol. 1, núm. 2, pp. 99-114.
- Dube, L.; Guyeva, E. (2014). "Technical Efficiency of Smallholder Out-grower Tea (Camellia Sinensis) Farming in Chipinge District of Zimbabwe", *Greener Journal of Agricultural Sciences*, vol. 4, núm. 8, pp. 367-377.
- Econometría (2011). "Levantamiento de información y evaluación de los resultados de la ejecución del programa AIS", Informe Final, Unión Temporal Econometría y SEI.
- Färe, R.; Grosskopf, S.; Lovell, C. A. K. (1985). *The Measurement of Efficiency of Production*, Boston: Kluwer Nijhoff Publishing.
- Farrell, M. J. (1957). "The Measurement of Productive Efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society*, vol. ACXX, núm. 3, pp. 253-290.
- González-Flores, M.; Bravo-Ureta, B. E.; Solís, D.; Winters, P. (2014). "The impact of high value markets on smallholder productivity in the Ecuadorean Sierra: A Stochastic Production Frontier approach correcting for selectivity bias", *Food Policy*, vol. 44(C), pp. 237-247.
- Hassine, N. B. (2007). *Technical Efficiency In The Mediterranean Countries Agricultural Sector*, Region et Developpement, LEAD, Universite du Sud - Toulon Var, Region et Developpement, LEAD, Universite du Sud - Toulon Var, vol. 25, pp. 27-44.
- Jondrow, J.; Lovell, C. A. K.; Materov, I. S.; Schmidt, P. (1982). "On the Estimation of Technical Inefficiency in the Stochastic Frontier Production Function Model", *Journal of Econometrics*, núm. 19, pp. 233-238.
- Kinkingninhoun-Médagbé, F.; Diagne, A.; Simtowe, F.; Agboh-Noameshie, F.; Adégbola, P. (2010). "Gender discrimination and its impact on income, productivity, and technical efficiency: evidence from Benin", *Agriculture and Human Values*, vol. 27, núm. 1, pp. 57-69.
- Kirner, L.; Ortner, M.; Hambrusch, J. (2007). "Using technical efficiency to classify Austrian dairy farms", *Die Bodenkultur, Austrian Journal of Agricultural Research*, núm. 58, pp. 15-24.
- Kumbhakar, S.; Lovell, C. A. K. (2000). *Stochastic Frontier Analysis*, Cambridge: University Press.
- Meeusen, W.; Van den Broeck, J. (1977). "Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Function with Composed Error", *International Economics Review*, vol. 18, núm. 2, pp. 435-444.
- Moreira, V. H.; Bravo-Ureta, B. E.; Arzubi, A.; Schilder, E. (2006). "Multi-output Technical Efficiency for Argentinean Dairy Farms Using Stochastic Production Frontiers and Distance Functions with Unbalanced Panel Data", *Economía Agraria*, núm. 10, pp. 97-106.
- Oren, M. N.; Alemnda, T. (2006). "Technical Efficiency Analysis of Tobacco Farming in Southeastern Anatolia", *Turk J Agric For*, vol. 30, pp. 165-172.
- Perdomo, J. A.; Hueth, D. (2011). "Funciones de producción, análisis de economías a escala y eficiencia técnica en el Eje Cafetero colombiano: una aproximación con frontera estocástica", *Revista Colombiana de Estadística*, vol. 34, núm. 2, pp. 377-402, Departamento de Estadística, Universidad Nacional de Colombia.

- Pitt, M. M.; Lee, L. F. (1981). "The Measurement and Sources of Technical Inefficiency in the Indonesian Weaving Industry", *Journal of Development Economics*, núm. 9, pp. 43-64.
- Porcelli, F. (2009). "Measurement of Technical Efficiency. A brief survey on parametric and non-parametric techniques", mimeo.
- Quoc Ho, T; Yanagida, J. F.; Illukpitiya, P. (2014). "Factors Affecting Technical Efficiency of Smallholder Coffee Farming in the Krong Ana Watershed, Vietnam", *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, vol. 3, núm. 1, pp. 37-49.
- Ramírez, J. M.; Martínez-Restrepo, S.; Sabogal, A.; Ortiz, E. (2014). "Barreras de acceso de la mujer rural a crédito, programas asociativos y a la formalización de la tierra en el norte del Cauca y el sur del Tolima", Informe de investigación, Fedesarrollo.
- Salau, S. A.; Adewumi, M. O.; Omotosho, O. A. (2012). "Technical Efficiency and its Determinants at different levels of Intensification among Maize-based Farming Households in Southern Guinea Savanna of Nigeria", *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, vol. 5, núm. 2, pp. 195-206.
- Sibiko, K. W.; Ayuya, O. I.; Gido, E. O.; Mwangi, J. K. (2013). "An analysis of economic efficiency in bean production: Evidence from Eastern Uganda", *Journal of Economics and Sustainable Development*, vol. 4, núm. 13.
- Solís, D.; Bravo-Ureta, B.; Quiroga, R. (2009). "Technical efficiency among peasant farmers participating in natural resource management programs in Central America", *J. Agric. Econ.*, núm. 60, pp. 202-219.
- Staacke, C.; Bunn, C.; Gómez, M. G. B.; Läderach, P. (2012). "Efficiency Analysis of Coffee Cultivation: The Case of Smallholder Farming in the Coffee Sector of Nicaragua", Conference Resilience of agricultural systems against crises.
- Tsionas, E. G.; Kumbhakar, S. C. (2004). "Markov switching stochastic frontier model", *Econometrics Journal*, núm. 7, pp. 398-425.
- Uzmay, A.; Koyubenbe, N.; Armagan, G. (2009). "Measurement of Efficiency Using Data Envelopment Analysis (DEA) and Social Factors Affecting the Technical Efficiency in Dairy Cattle Farms within the Province of Izmir, Turkey", *Journal of Animal and Veterinary Advances*, vol. 8, núm. 6, pp. 1110-1115.

ANEXO 1

Cuadro A1.1

Distribución espacial de los productores por grupos de productos (porcentaje)

Departamento	Café	Ganadería de leche	Frutales ^a	Básicos ^b	Transformables ^c
Antioquia	13,1	10,0	9,1	12,2	2,3
Arauca		5,9	1,4	4,9	7,7
Atlántico		1,5	2,0	0,3	
Bogotá	0,2	0,1			
Bolívar		0,1			
Boyacá	2,8	25,9	9,5	10,5	12,2
Caldas	5,7	0,3	3,3	1,3	1,6
Caquetá		1,2		0,6	0,2
Casanare	0,1	6,4	2,6	8,3	0,7
Cauca	1,4	0,3	4,8	1,9	1,6
Cesar	0,9	5,5	0,3	2,2	1,6
Córdoba		3,2	0,3	1,6	
Cundinamarca	3,5	9,2	8,9	1,3	4,5
Guaviare		0,1			
Huila	19,0	3,0	3,8	0,3	8,4
La Guajira		0,3		0,3	
Magdalena	1,5	3,1	9,8	0,9	1,1
Meta	0,5	4,5	4,3	10,0	5,2
Nariño	15,9	7,9	3,2	16,9	11,3
Norte de Santander	4,5	2,3	2,0	5,2	3,8
Quindío	3,7	0,3	1,3	3,1	
Risaralda	4,2		1,9	2,8	0,9
Santander	9,4	6,9	15,0	6,6	24,6
Sucre		1,1			
Tolima	5,3	0,7	9,5	5,0	7,5
Valle del Cauca	8,4	0,7	7,1	3,8	5,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

a/ Incluyen principalmente mora, aguacate, naranja, limón, mango, banano, guayaba, maracuyá, mandarina, piña, lulo, curuba, granadilla y pera (Cuadro 1).

b/ Incluyen plátano, maíz, yuca, frijol, papa y ñame (Cuadro 1).

c/ Incluyen caña, cacao, tabaco, fique, trigo, frijol, y algodón (Cuadro 1).

Fuente: cálculos de los autores.

ANEXO 2

Cuadro A2.1

Estimación de la frontera de producción por grupos de productos Parámetros función de producción Cobb-Douglas

	Transformables	Básicos	Frutales	Café	Ganadería de leche
Área	1,040*** (0,082)	0,579*** (0,088)	0,517*** (0,063)	0,624*** (0,058)	0,127*** (0,024)
Insumos	0,042** (0,018)	0,084*** (0,019)	0,090*** (0,018)	0,088*** (0,010)	0,342*** (0,050)
Maquinaria	0,004 (0,011)	0,005 (0,012)	0,010 (0,010)	0,009** (0,004)	0,007 (0,005)
Trabajo_H	0,136 (0,148)	0,070 (0,046)	0,035 (0,036)	0,028 (0,022)	0,012 (0,019)
Trabajo_C	0,214*** (0,040)	0,251*** (0,045)	0,157*** (0,042)	0,173*** (0,025)	0,098*** (0,020)
Constante	7,088*** (0,350)	5,878*** (0,298)	7,575*** (0,440)	5,604*** (0,213)	4,376*** (0,691)
Observaciones	886	638	694	2.026	1.486
Número de productores	443	319	347	1.013	743

Nota: errores estándar robustos en paréntesis.

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Fuente: cálculos de los autores.

Cuadro A2.2
Parámetros función de producción Translog

	Transformables	Básicos	Café	Ganadería de leche
Área	0,836*** (0,205)	1,251*** (0,305)	0,547*** (0,111)	1,167*** (0,263)
Trabajo_H	-0,299* (0,169)	0,361* (0,209)	0,143** (0,073)	0,089 (0,168)
Trabajo_C	0,365*** (0,118)	0,175 (0,177)	0,233*** (0,061)	0,123 (0,145)
Insumos	-0,257*** (0,064)	-0,253*** (0,065)	-0,194*** (0,023)	-0,244*** (0,083)
Maquinaria	-0,079 (0,069)	-0,065 (0,103)	-0,045* (0,024)	-0,039 (0,038)
Área2	0,096*** (0,029)	0,102** (0,051)	0,014 (0,019)	0,049** (0,020)
Trabajo_H2	0,048** (0,024)	-0,014 (0,042)	0,004 (0,006)	-0,011 (0,011)
Trabajo_C2	0,031* (0,017)	0,026 (0,025)	0,036*** (0,006)	0,040*** (0,009)
Insumos2	0,022*** (0,004)	0,028*** (0,005)	0,022*** (0,002)	0,032*** (0,004)
Maquinaria2	0,007 (0,005)	-0,001 (0,007)	0,003* (0,002)	0,007*** (0,002)
+ Productos cruzados de los factores				
Constante	6,594*** 0,567	5,610*** 0,521	5,076*** 0,276	6,618*** 0,800
Observaciones	886	638	2.026	1.486
Número de productores	443	319	1.013	743

Nota: errores estándar robustos en paréntesis.

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Fuente: cálculos de los autores.