

# Documentos CEDE

ISSN 1657-7191 edición electrónica

Funciones de producción y eficiencia técnica  
en el eje cafetero colombiano: una aproximación  
con frontera estocástica

**Jorge Andrés Perdomo**  
**Darrell Hueth**

**21**

AGOSTO DE 2010

Serie Documentos Cede, 2010-21  
ISSN 1657-7191

Agosto de 2010

© 2010, Universidad de los Andes–Facultad de Economía–Cede  
Calle 19A No. 1 – 37, Bloque W.

Bogotá, D. C., Colombia

Teléfonos: 3394949- 3394999, extensiones 2400, 2049, 3233

*infocede@uniandes.edu.co*

*http://economia.uniandes.edu.co*

Ediciones Uniandes

Carrera 1ª Este No. 19 – 27, edificio Aulas 6, A. A. 4976

Bogotá, D. C., Colombia

Teléfonos: 3394949- 3394999, extensión 2133, Fax: extensión 2158

*infeduni@uniandes.edu.co*

Edición, diseño de cubierta, pre prensa y prensa digital:

Proceditor Ltda.

Calle 1ª C No. 27 A – 01

Bogotá, D. C., Colombia

Teléfonos: 2204275, 220 4276, Fax: extensión 102

*proceditor@etb.net.co*

Impreso en Colombia – *Printed in Colombia*

El contenido de la presente publicación se encuentra protegido por las normas internacionales y nacionales vigentes sobre propiedad intelectual, por tanto su utilización, reproducción, comunicación pública, transformación, distribución, alquiler, préstamo público e importación, total o parcial, en todo o en parte, en formato impreso, digital o en cualquier formato conocido o por conocer, se encuentran prohibidos, y sólo serán lícitos en la medida en que se cuente con la autorización previa y expresa por escrito del autor o titular. Las limitaciones y excepciones al Derecho de Autor, sólo serán aplicables en la medida en que se den dentro de los denominados Usos Honrados (Fair use), estén previa y expresamente establecidas; no causen un grave e injustificado perjuicio a los intereses legítimos del autor o titular, y no atenten contra la normal explotación de la obra.

## **FUNCIONES DE PRODUCCIÓN Y EFICIENCIA TÉCNICA EN EL EJE CAFETERO COLOMBIANO: UNA APROXIMACIÓN CON FRONTERA ESTOCÁSTICA**

Jorge Andrés Perdomo<sup>†, \*</sup>

Darrell Hueth<sup>‡, ◊</sup>

### Resumen

Este estudio estimó la forma funcional de producción cafetera en Colombia mediante fronteras estocásticas (FEP). Con esto, se analizó la importancia de los principales insumos empleados en la producción de café (cantidad de hectáreas cultivadas, mano de obra utilizada, maquinaria requerida y cantidad de fertilizantes aplicados), que afectan la productividad. Igualmente, se determinó la existencia de economías a escala en productores pequeños, medianos, grandes y sector general cafetero; ubicados en Caldas, Quindío y Risaralda. Finalmente, fue evaluada la eficiencia técnica (ET) en la producción.

Entre los principales resultados, se destaca que la función de producción cafetera tiene una forma funcional Translog minflex Laurent para pequeños, medianos, grandes y sector general del eje cafetero colombiano. Así, para pequeños, medianos y sector general de cafeteros existe ineficiencia técnica y estocástica en la actividad agrícola; caso contrario, en grandes que son eficientes técnicamente aunque no estocásticamente.

Por consiguiente, la medida de eficiencia técnica obtenida mediante FEP, indica que el promedio de rendimiento para el sector general es de 70%, en pequeños 70%, medianos 66% y grandes del 99%. Dada la heterogeneidad, en la producción de café, los pequeños, medianos y sector general de caficultores presentan rendimientos crecientes a escala, mientras los grandes cafeteros exhiben rendimientos decrecientes a escala; en el eje cafetero colombiano. De acuerdo con estos resultados, el insumo más importante en el sector cafetero, unidades medianas y pequeñas es el área productiva en café, mientras para los grandes es la mano de obra empleada en el cultivo.

*Palabras clave:* función de producción cafetera, pequeños caficultores, medianos caficultores, grandes caficultores y sector general cafetero, frontera estocástica de producción, eficiencia técnica, análisis de economías a escala.

*Clasificación JEL:* Q12, D24, C01, C29.

---

<sup>†</sup> Facultad de Economía, Universidad de los Andes, Colombia, e-mail: [jor-perd@uniandes.edu.co](mailto:jor-perd@uniandes.edu.co).

<sup>\*</sup> Corresponde al autor.

<sup>◊</sup> Departamento de Economía Agrícola y Recursos Naturales, 2200 Symons Hall, College Park, MD 20742, U.S.A.  
e-mail: [dhueth@arec.umd.edu](mailto:dhueth@arec.umd.edu)

# FUNCTIONAL FORM PRODUCTION, RETURNS TO SCALE AND TECHNICAL EFFICIENCY IN COFFEE FARMERS OF THE GENERAL SECTOR AND FOR FARM SIZE (LARGES, MEDIUM'S AND SMALLHOLDER): AN APPLICATION WITH STOCHASTIC PRODUCTION FRONTIER IN COLOMBIA

Jorge Andrés Perdomo<sup>†,\*</sup>

Darrell Hueth<sup>‡,◇</sup>

## Abstract

This study estimated flexible and conventional functional specification to establish minflex Laurent Translog function in coffee farmers of the general sector and for farm size (larges, medium's and smallholder) in Colombia. Through stochastic production frontier, was determined the technical inefficiency and efficiency, for them. The results show that technical efficiency on average is 99%, 66% and 70% on larges, medium's, general sector and smallholder respectively. Thus, they describe increasing and decreasing returns to scale of coffee production.

*Key words:* Functional Forms, Coffee Farmers, General Sector, Farm Size (larges, medium's and smallholder), Colombia, Stochastic Production Frontier model, Technical Efficiency, Returns to Scale.

*JEL Classification:* Q12, D24, C01, C29.

---

<sup>†</sup> Facultad de Economía, Universidad de los Andes, Colombia, e-mail: [jor-perd@uniandes.edu.co](mailto:jor-perd@uniandes.edu.co).

<sup>\*</sup> Corresponde al autor.

<sup>◇</sup> Departamento de Economía Agrícola y Recursos Naturales, 2200 Symons Hall, College Park, MD 20742, U.S.A. e-mail: [dhueh@arec.umd.edu](mailto:dhueh@arec.umd.edu)

## Introducción

Colombia es el tercer productor cafetero y principal agricultor de café Arábica lavado<sup>1</sup> mundial. Desde 1870 empezó a desarrollar su producción comercial y actualmente representa el 2% del PIB nacional. Según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia – FEDECAFE, existen aproximadamente 560.000 fincas dedicadas a cultivar café. En estas se encuentran los pequeños<sup>2</sup>(minifundistas), medianos<sup>3</sup> (campesinos) y grandes productores<sup>4</sup> (empresariales).

La principal región cafetera colombiana (Quindío, Risaralda y Caldas), objeto de este estudio, cuenta con características ideales para cultivar café; porque el grano se cosecha principalmente en zonas templadas a 1.200 metros sobre el nivel del mar<sup>5</sup> y tiene característica perenne<sup>6</sup>. Según la Federación Nacional de Cafeteros, los caficultores colombianos están situados, en todo el país, sobre 3,6 millones de hectáreas; de las cuales, 969.500 actualmente son destinadas a cultivar café, su producción se ubicó en 7,9 millones de sacos<sup>7</sup> para el año 2009; la recolección cafetera es realizada entre los meses marzo-abril<sup>8</sup> y octubre<sup>9</sup>. Además, en Colombia existen 590 municipios cafeteros que albergan 560.000 caficultores; Quindío, Risaralda y Caldas se conocen como el eje cafetero y abarcan la mayor parte de las características cafeteras descritas en el país.

Por otra parte, el sector cafetero colombiano emplea directamente a 530.000 personas aproximadamente<sup>10</sup> y unas 2,5 millones dependen del cultivo. De acuerdo con Pizano (2001), la pequeña explotación cafetera predomina en Colombia, provee el 15% sobre la producción total y aporta simultáneamente una parte significativa en mano de obra requerida por los grandes caficultores. Siguen, las unidades campesinas, medianos productores, que generan el 40% de la producción nacional y finalmente el 45% restante es producido por cafeteros empresariales<sup>11</sup>.

El café ha sido importante en la economía nacional por generar grandes ingresos, consecuencia de una mayor participación externa<sup>12</sup>, alcanzando hasta un 80% en las exportaciones totales<sup>13</sup>. Pese a su buen comportamiento hacia finales del siglo XVII y hasta

---

<sup>1</sup> Edición número 18, Ensayos sobre Economía Cafetera, Banco Mundial (2002).

<sup>2</sup> Edición número 18, Ensayos sobre Economía Cafetera, Banco Mundial (2002), el 64% de los caficultores son minifundistas con menos de media hectárea sembrada en café.

<sup>3</sup> Edición número 18, Ensayos sobre Economía Cafetera, Banco Mundial (2002), según FEDECAFE, el 31% de los productores corresponden a unidades empresariales cafeteras campesinas con un promedio de 2,2 hectáreas sembradas en café.

<sup>4</sup> Edición número 18, Ensayos sobre Economía Cafetera, Banco Mundial (2002), según FEDECAFE, los cafeteros empresariales son el 5% del total de unidades productivas, con fincas que fluctúan entre 7 y 35 hectáreas cultivadas en café.

<sup>5</sup> Los ciclos dependen de la altitud, entra más alto se prolonga el ciclo y entre más bajo más corto.

<sup>6</sup> Cultivo permanente o de periodos largos.

<sup>7</sup> O bultos de 60 kilogramos.

<sup>8</sup> Cosecha traviesa y se recolecta el 30%.

<sup>9</sup> Cosecha principal, se recolecta un 40% y el 10% restante es recogido en la práctica del Re-Re.

<sup>10</sup> Concejo Internacional del Café (2003).

<sup>11</sup> Ensayos sobre Economía Cafetera, Federación Nacional de Cafeteros, 18, 27-32. Santos (2002), “Estudios del Sector Cafetero en Colombia (Resumen Ejecutivo)”.

<sup>12</sup> Pizano (2001), p.2.

<sup>13</sup> Arteta (1985), p. 17.

el XX, las ventas en el mercado mundial lograron su máximo histórico durante 1986, año con un total de US\$2.988 millones, dado los buenos precios internacionales.

Este fenómeno, produjo importantes efectos sobre la economía colombiana para demandar bienes y servicios, potencial de inversión industrial, ahorro interno, capacidad importadora en materias primas y bienes de capital<sup>14</sup>. Cambios que tuvieron auge entre 1870 y 1930, permitiendo integrar la economía del país y tener resultados a nivel político y social<sup>15</sup>. Sin embargo toda dinámica, del producto en las exportaciones colombianas, se perdió una vez desatada la crisis cafetera mundial. Los bajos precios<sup>16</sup> presentados con el problema, contribuyeron a ceder terreno en la balanza comercial y productos nacionales no tradicionales para exportar, como flores, superaron los montos comercializados internacionalmente de café en Julio (2000); Marzo, Julio, Agosto (2001); Abril, Mayo, Junio, Julio (2002); Febrero, Marzo, Mayo, Julio, Agosto (2003) y Junio, Agosto, Septiembre (2004)<sup>17</sup>.

Adicional a la coyuntura externa, que influye sobre el sector, se presume una posible fragmentación interna de tierras en el eje cafetero. En otras palabras, existe la hipótesis que las familias han dividido los lotes dedicados al cultivo de café. Aunque actualmente no existen estudios técnicos que acepten o rechacen esta premisa, tampoco se conoce exactamente el origen del problema. Este comportamiento, posiblemente obedece al crecimiento demográfico sobre la zona; obligando a las comunidades cafeteras a fraccionar sus parcelas entre el número de miembros que conforman su núcleo familiar; ante la imposibilidad de encontrar nuevas oportunidades en el mercado laboral.

Simultáneamente, también en Colombia, los caficultores han sustituido cultivo de café hacia otras actividades agrícolas como ganadería y banano para mitigar el riesgo ocasionado por la volatilidad en precios internacionales del grano. Esta conducta, se conoce comúnmente con el nombre diversificación de cultivos<sup>18</sup>. Al igual que para el caso sobre segmentación de área en fincas, esto es solo una hipótesis porque tampoco existen investigaciones técnicas en el tema. Por consiguiente, hasta este momento, estos dos supuestos son los que posiblemente expliquen la disminución en la superficie sembrada de café<sup>19</sup>.

---

<sup>14</sup> Edición número 18, Ensayos sobre Economía Cafetera, Banco Mundial (2002).

<sup>15</sup> Pizano (2001), p.3. *“El café fue fundamental para el crecimiento económico, la balanza de pagos, las finanzas públicas, el empleo, el desarrollo industrial nacional y regional y para el sistema político, económico e institucional del país”*.

<sup>16</sup> Por debajo de un dólar, aunque actualmente se mantiene en promedio de dos dólares la libra, no alcanza a superar su auge de tres dólares alcanzado en 1975.

<sup>17</sup> Véase Publicación histórica de estadísticas sobre el sector externo colombiano, Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, DANE. Actualmente se mantiene esta tendencia.

<sup>18</sup> Para entender si el fenómeno de diversificación en cultivos es relevante para el eje cafetero colombiano, se debe contar con precios de productos cultivados y observar la relación entre estos y la producción cafetera. Aunque según FEDECAFE en Colombia no se presenta este fenómeno, predomina la fragmentación y concentración en tierras dedicadas al cultivo del grano.

<sup>19</sup> Entre 1970 y 1997 el área cultivada cafetera disminuyó un 18,5%; para 1970 y 1981 la reducción fue de 5,9% y durante 1981 y 1997 la caída en hectáreas cultivadas del grano alcanzó el 12,6% (edición número 20, *Ensayos sobre Economía Cafetera*, Guhl 2004, 141).

Adicionalmente, los costos de producción son otra preocupación para la economía cafetera Colombiana. Lo anterior, teniendo en cuenta que el país resultó damnificado por la crisis de precios internacionales, dado sus altos costos para cultivar café; comparado con otros países productores a nivel mundial. Por ejemplo, el costo para producir una libra de café en Vietnam varía entre US\$0,20 y US\$0,22, mientras a Colombia producir una libra de café le cuesta US\$0,57 si es gran productor, US\$0,60 para medianos y US\$0,61 a los pequeños productores y en Brasil este mismo costo se ubica entre US\$0,45 y US\$0,50 (Pizano, 2001, 58 y 76).

Los fenómenos sobre fragmentación en tierras cafeteras, diversificación de cultivos y otros factores, posiblemente están afectando la eficiencia productiva del grano en Colombia. Ocasionando altos costos para producirlo comparado con Vietnam y Brasil. Adicionalmente, estas mismas conductas pueden estar repercutiendo sobre la productividad y competitividad del cultivo. Esto obliga a pensar en estudios que generen evidencia para contribuir en una mejora de la situación cafetera colombiana.

Considerando lo anterior e importancia del sector en la economía, cultura y ámbito social colombiano. Se han realizado varios estudios<sup>20</sup>, académicos e institucional, sobre procesos productivos y determinantes de productividad para la actividad cafetera nacional; enfocados a encontrar, diseñar y formular políticas que puedan aumentar producción y competitividad. Para así, enfrentar los cambios estructurales globales<sup>21</sup> tejidos alrededor del producto exportable. Sin embargo, en los estudios existentes la falta de información sobre el sector limita y dificulta tomar decisiones. La carencia estadística detallada a nivel microeconómico en Colombia, discriminada por tipo de productor cafetero, es un problema relevante que no permite evidenciar las debilidades del sector para formular políticas económicas cafeteras. Ante este problema, las disposiciones en política que se tomen para la caficultura colombiana; puede conllevar a dudosos resultados. Según García y Ramírez (edición número 18, *Ensayos sobre Economía Cafetera*, 2002), “es muy poco lo que se conoce sobre las particularidades de los pequeños productores, específicamente sobre los aspectos microeconómicos de su actividad, o de las interacciones de estos con otras actividades de índole social, económica, cultural y política. Esta falta de información y análisis limita la elaboración de un diagnóstico más preciso de la caficultura y de los caficultores del país y, consecuentemente, resta cualquier posibilidades de éxito a cualquier estrategia dirigida a ellos. Profundizar en estos asuntos permitirá el diseño de políticas y programas institucionales acertados y pertinentes”.

Ante estas consideraciones, los estudios a realizar en Colombia sobre el tema de producción, costos y productividad cafetera; requieren un análisis técnico para investigar el problema y una buena calidad de información. Buscando desarrollar modelos, que logren especificar y describir un adecuado comportamiento de los insumos sobre la producción en café colombiano. Actualmente la organización cafetera, más grande del país, se basa sobre una serie de instituciones en busca mejorar su eficiencia administrativa y está dirigida a diseñar políticas cafeteras para enfrentar el problema de tipo estructural.

---

<sup>20</sup> Leibovich y Barón (1996), Duque y Bustamante (2002), Zambrano (1991).

<sup>21</sup> Ocasionados por la crisis mundial cafetera de 1989.

Posiblemente, si se contara con un modelo cafetero enfocado en los problemas microeconómicos, puede contribuir a mejorar el reto macroeconómico. Porque una mayor eficiencia, para producir café, potencialmente puede repercutir en aumento productivo y competitivo desde lo individual y de esta manera obtener mejor desempeño en los indicadores cafeteros macroeconómicos nacionales e internacionales.

Por todo lo expuesto, el objetivo principal de este estudio consiste en estimar la forma funcional de producción cafetera en Colombia mediante fronteras estocásticas. Con esto, entender la importancia de los principales insumos empleados en la producción de café (cantidad de hectáreas cultivadas, mano de obra utilizada, maquinaria requerida y cantidad de fertilizantes aplicados), que pueden afectar la productividad y determinar si existe o no *economías de escala*. Para los productores pequeños, medianos, grandes y sector general cafetero; en los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda, con el fin de evaluar la eficiencia<sup>22</sup> técnica<sup>23</sup> (ET) en la producción y realizar recomendaciones que puedan mejorar esta eficiencia y competitividad<sup>24</sup> del sector.

Sin embargo, con respecto a funciones de producción, economías de escala y eficiencia técnica en la producción de café colombiana, existen varios estudios entre los que se destacan: Zambrano (1991); Leibovich y Barón (1996); García y Ramírez (2002, edición número 18, *Ensayos sobre Economía Cafetera*); Duque y Bustamante (2002); Cuellar (2004); Perdomo (2006); Perdomo, Hueth y Mendieta (2007); Perdomo y Mendieta (2007); Lozano (2007); Leibovich, Estrada y Vásquez (2009).

Estos, reflejan a nivel nacional las distintas técnicas empleadas para encontrar los determinantes de funciones de producción y productividad en café. Para el presente trabajo, es importante conocer todos sus aspectos positivos y negativos encontrados, con el fin de mejorar las deficiencias metodológicas en algunos de ellos que conduzcan a resultados más confiables y robustos; en la postulación de las funciones de producción y estimación de eficiencia técnica por unidad de producción y sector general cafetero en los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda Sin embargo, y otros productos del sector agrícola.

Dado que gran parte de los documentos publicados en Colombia han trabajado únicamente funciones de producción teóricas (por falta de información microeconómica) o convencionales como Cobb-Douglas y no flexibles como las expuestas en el presente estudio. En ninguno de ellos, se encontró evidencia sobre FEP (como se llevó a cabo en este análisis) en el sector o unidades productivas en el ámbito nacional o regional para estimar ET, únicamente análisis no paramétrico (DEA, Data Envolpment Analysis, siglas en inglés).

Adicionalmente, la mayor parte de la información es longitudinal que posiblemente conduce a resultados espurios en los modelos y de política por no realizar previamente análisis de series de tiempo (pruebas de raíz unitaria, cointegración de corto y largo plazo,

---

<sup>22</sup> La eficiencia es un concepto relativo, que se obtiene por comparación con otras alternativas disponibles, considerando los recursos empleados en la consecución de los resultados (The Welfare Economics of Public Policy, Just, Hueth, Schmitz. 2004, p. 10).

<sup>23</sup> Se refiere al logro del máximo nivel de producción posible, dada unas cantidades de insumos.

<sup>24</sup> Ramírez, Silva, Valenzuela, Villegas y Villegas (2001), p. 54



causalidad, estimación de vectores autorregresivos y corrección de errores, entre otros). Asimismo, utilizar modelos restringido a rendimientos constantes a escala en el sector desconociendo estadísticamente la existencia de economías crecientes o decrecientes a escala en la producción cafetera colombiana.

Con el fin de cumplir el objetivo del estudio, el documento se encuentra dividido en siete secciones: la primera presenta el aspecto introductorio. La segunda corresponde al marco teórico sobre funciones de producción desde la perspectiva microeconómica y de economía agrícola, el tercero contiene la metodología analítica de frontera estocástica de producción. La cuarta corresponde a una revisión de literatura, en la quinta se encuentra la función de producción cafetera colombiana, la seis contiene la evidencia empírica o resultados e interpretación de las estimaciones. La sección siete las conclusiones y finalmente la ocho las referencias empleadas.

## I. Funciones de producción desde la perspectiva microeconómica y de economía agrícola

El análisis de producción en el sector cafetero y por tipo de productor en Colombia, se enfoca bajo la economía de producción. La relación entre los factores de producción y la cantidad producida se describe por medio de una función de producción<sup>25</sup> (véase cuadro 1), indicando el máximo nivel de producto ( $q$ ) que obtiene una empresa (cantidad producida de café en las fincas para el 2003), dada una combinación específica de factores ( $x_i$  y  $x_j$ ). En este sentido, se pretende encontrar el modelo cafetero que describa la relación causa efecto entre los principales insumos empleados (cantidad de hectáreas cultivadas, mano de obra utilizada, maquinaria requerida y cantidad de fertilizantes aplicados) en el cultivo y la producción de café (cantidad de café producida en arrobas para el año 2003) y  $\beta$  y  $\lambda$  son los respectivos parámetros en cada modelo. Entre las funciones de producción bajo diferentes formas funcionales convencionales<sup>26</sup> y flexibles<sup>27</sup> (véase cuadro 1) se destacan:

**Cuadro 1. Funciones de producción convencionales y flexibles.**

<b>Función de producción</b>	<b>Ecuación forma funcional</b>
<b>Proporciones fijas – Leontieff</b>	$(\sigma = 0, \rho \rightarrow -\infty): q = \min(\beta_1 x_i, \beta_2 x_j) \Rightarrow \beta_1, \beta_2 > 0$
<b>Cobb-Douglas</b>	$(\sigma = 1, \rho = 0): q = f(x_i, x_j) = \beta_0 x_i^{\beta_1} x_j^{\beta_2} \Rightarrow \beta_0, \beta_1, \beta_2 > 0$
<b>CES</b>	$q = f(x_i, x_j) = [\beta_1 x_i^\rho + \beta_2 x_j^\rho]^{\frac{1}{\rho}} \Rightarrow \rho \leq 1, \rho \neq 0, \rho \rightarrow -\infty, \epsilon > 0$
<b>Cuadrática</b>	$q = f(x_i, x_j) = \beta_1 x_i x_j + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_j^2$
<b>Flexibles</b>	
<b>Leontief generalizada (Diewert)</b>	$q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} \sqrt{x_i x_j} \Rightarrow \beta_{ij} = \beta_{ji}$

<sup>25</sup> Pindyck Robert-Rubinfeld Daniel. Microeconomía. 5ª edición. Prentice Hall. 2001. p. 180.

<sup>26</sup> Generalmente simplifica el modelo con la utilización de uno o dos insumos.

<sup>27</sup> Este término fue incorporado por Diewert en 1974.

<b>Translogarítmica</b>	$\ln q = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \ln x_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \ln x_i \ln x_j \Rightarrow \beta_{ij} = \beta_{ji}$
<b>Cuadrática generalizada</b>	$q = (\alpha_0 + 1) + \sum_{j=1}^J \left( \sum_{k=1}^J \frac{\alpha_{jk}}{2} - \alpha_j \right) + \sum_{j=1}^J \left( \alpha_j - \sum_{k=1}^J \alpha_{jk} \right) X_{ji} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^J X_{ji} X_{ki}$
<b>Cuadrática, raíz cuadrada</b>	$q = \left[ 2(\alpha_0 + 1) + 2 \sum_{j=1}^J \left( \sum_{k=1}^J \frac{\alpha_{jk}}{2} - \alpha_j \right) + 2 \sum_{j=1}^J \left( \alpha_j - \sum_{k=1}^J \alpha_{jk} \right) X_{ji} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^J X_{ji} X_{ki} \right]^{-0.5}$
<b>Cuadrática generalizada Box-Cox</b>	$\frac{q^{2\theta} - 1}{2\theta} = \alpha_0 + \sum \alpha_i \frac{x_i^\lambda - 1}{\lambda} + \frac{1}{2} \sum \sum \alpha_{ij} \frac{x_i^\lambda - 1}{\lambda} \frac{x_j^\lambda - 1}{\lambda}$
<b>CES, multifactores</b>	$q = \left[ \sum \beta_i x_i^\rho \right]^{\frac{1}{\rho}}$

*Fuente:* autores a partir de Nicholson (2002), Diewert (2005), Konstantinos, Kien y Vangelis (2003) Mendieta y Perdomo (2008).

En el cuadro 1,  $x_i$  se refiere a la cantidad de capital empleado en la producción de café determinado por la maquinaria requerida y  $x_j$  representa la cantidad de mano de obra empleada en la actividad. Igualmente, en las formas funcionales pueden relacionarse una gran cantidad de factores de producción, la interacción y variación de las elasticidades de sustitución parcial entre ellos ( $x_i, x_j, x_k, x_i x_k$ ). Éstas, permiten el análisis de los efectos de segundo orden y describen de forma más real el comportamiento de la producción dado los factores.

Entre las principales características de este tipo de funciones se destaca, que la elasticidad de sustitución no es unitaria (no son tan rígidas como la convencional) y el cumplimiento de la restricción  $\beta_{ij} = \beta_{ji}$  sobre los parámetros para conseguir la simetría de las derivadas parciales de segundo orden<sup>28</sup>. Así, con la información disponible acerca de cada una de los insumos empleados en el cultivo de café y la cantidad de grano que obtienen los grandes, medianos, pequeños y el sector general de caficultores colombianos se obtendrá la estimación de la forma funcional de producción adecuada para cada una de ellos y el sector general en el país, empleando Frontera Estocástica de Producción (FEP), donde previamente debe establecerse una forma funcional de producción convencional o flexible como las descritas anteriormente.

A través de la función de producción seleccionada, se determinará la eficiencia técnica de cada grupo (pequeños, medianos y grandes productores) y el sector general (agrupando los pequeños, medianos y grandes productores). Esto, con el fin de postular políticas que ayuden a mejorar las posibles deficiencias en el manejo de la producción, que se encuentren en el sector y en cada uno de los grupos cafeteros; la metodología analítica sobre FEP es descrita a continuación.

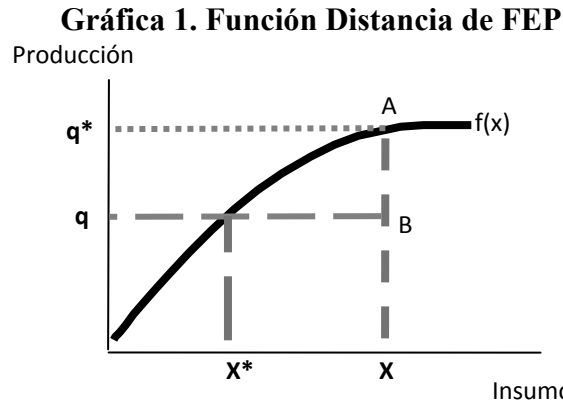
<sup>28</sup> Véase más detalles en Konstantinos, Kien y Vangelis (2003, 79-81).

## II. Metodología analítica

Gran parte de trabajos realizados sobre eficiencia técnica a nivel mundial en sectores de producción, salud, deporte, educación, ambiente, recursos naturales, transporte, energía eléctrica, público, turismo, financiero entre otros han empleado técnicas paramétricas (desarrollos econométricos) y no paramétricas (programación matemática). Comúnmente denominadas como frontera estocástica de producción (FEP) y análisis envolvente de datos (DEA). El estudio, empleará FEP para alcanzar el objetivo planteado.

### A. Frontera estocástica de producción, FEP

Es una aproximación paramétrica propuesta por Aigner, Lovell y Schmidt (1977) y Meesen y Van den Broeck (1977), que consiste en ajustar las formas funcionales de producción (como las descritas anteriormente) a través de técnicas econométricas utilizando el método de Máxima Verosimilitud. La eficiencia se mide como la distancia entre una observación y el valor óptimo que predice un modelo teórico (véase gráfica 1).



*Fuente:* Reinhard, Lovell, and Thijssen (1999, 51)

De esta forma, la ecuación (1) describe el modelo de FEP el cual es el más empleado para evaluar eficiencia técnica bajo el enfoque paramétrico. Este procedimiento consiste en estimar una función de producción de frontera, que permite calcular el máximo nivel de producto,  $q^*$ , (véase figura 1 para un insumo<sup>29</sup>) obtenido por pequeños, medianos, grandes productores y el sector general cafetero, dada una combinación de insumos ( $x_i$  y  $x_j$ ).

$$q = f(x_i, x_j, \beta) e^{\eta_i}, \text{ donde } \eta_i = v_i - u_i \quad (1)$$

Así, el término aleatorio del modelo (residuales,  $\eta_i$ ) en la ecuación (1) tiene dos componentes cuya diferencia hace que sea asimétrico. Donde  $v_i$  es iid<sup>30</sup> [ $v_i \sim N(0, \sigma_v^2)$ ] se distribuye de manera normal con media cero y varianza constante,  $-\infty < v_i < \infty$ , almacenando

<sup>29</sup> En la función Distancia de la figura 3, las unidades de producción ubicadas en la frontera, como el A, son eficientes. Y las que se encuentran fuera de ella son ineficientes, como B. Este último puede incrementar su producto hasta la frontera.

<sup>30</sup> Idéntica e independientemente distribuida, iid.

las variaciones aleatorias<sup>31</sup> de la producción. Mientras que  $u_i$  es un término asimétrico iid [ $u_i \geq 0 \sim N(0, \sigma_u^2)$ ] independiente de  $v_i$ , truncado en cero (estrictamente mayor igual a cero<sup>32</sup>) y acumula la ineficiencia técnica<sup>33</sup> de las observaciones de producción.

$$Ln f(\pi, \sigma_s^2, \beta) = -\frac{T}{2} Ln\left(\frac{\pi}{2}\right) - \frac{T}{2} Ln(\sigma_s^2) + \sum_{i=1}^T Ln[1 - \varphi(z_i)] - \frac{T}{2\sigma_s^2} \sum_{i=1}^T (q^* - f(x_i, x_j, \beta))^2 \quad (2)$$

La FEP, dada las características anteriores de  $\eta_i$  debe estimarse mediante máxima verosimilitud; por esto, la ecuación (2) representa el logaritmo de la función de verosimilitud ( $Ln f$ ). Donde  $T$  es el número de observaciones,  $\sigma_s^2$  la varianza del modelo y  $\varphi(\cdot)$  es la distribución normal estándar dado que  $z_i = \frac{(q^* - f(x_i, x_j, \beta))}{\sigma_s} \sqrt{\frac{\gamma}{1-\gamma}}$ .  $\gamma$  representa el parámetro de eficiencia o variabilidad; que proviene de cada una de la fuentes del término del error compuesto,  $\eta_i$ , en la ecuación (1).

A partir de la definición para  $v_i$  y  $u_i$ , entonces  $\sigma_s^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$  y  $\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_s^2} = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_u^2 + \sigma_v^2}$ ; encontrándose entre cero y uno,  $0 \leq \gamma \leq 1$ . Razón por la cual los parámetros a estimar en la ecuación (1) deben ser obtenidos por el método de máxima verosimilitud con el fin de ser eficientes asintóticamente y consistentes<sup>34</sup>; si se estiman bajo mínimos cuadrados ordinarios son consistentes pero no eficientes.

Adicionalmente, una de las grandes utilidades de emplear FEP para analizar eficiencia, es el resultado del coeficiente de eficiencia,  $\gamma$ , en la ecuación (2). Lo que significa, que si gamma tiende a cero es porque  $\sigma_u^2 \rightarrow 0$ , estableciendo que el efecto aleatorio es el que predomina; en pocas palabras no existe ineficiencia técnica y  $\eta_i$  tiende a distribuirse normalmente. Caso contrario, cuando gamma es cercano o mayor a uno, es porque  $\sigma_u^2 \rightarrow \infty$ , la ineficiencia técnica es la principal fuente de variabilidad del modelo.

También, bajo el enfoque paramétrico se obtiene el nivel de eficiencia técnica, ET, representado en la ecuación (3), este se concibe por la relación entre el producto conseguido y el máximo que puede obtenerse. En otras palabras, representa la proporción

<sup>31</sup> Se refiere a los factores independientes de la producción, los que no pueden ser controlados directamente por los productores. Variables que no pueden controlar como el cambio de políticas de tipo institucional en los mercados, la volatilidad de los precios del producto, la incertidumbre, el riesgo entre otros.

<sup>32</sup> Ver Análisis econométrico de William Greene, tercera edición, p. 268.

<sup>33</sup> Dada por los insumos o las variables de producción que son directamente controlados por los productores. Como la cantidad de insumos en que incurrir para producir.

<sup>34</sup> Aigner, Lovell y Schmidt (1977).

entre la producción actual, con respecto a la que se obtendría si los productores utilizaran sus recursos con eficiencia técnica ( $ET = \frac{q}{q^*}$ ).  $ET$  toma valores entre cero y uno

( $0 < ET < 1$ ), para obtener la  $ET_i$  de un productor cafetero, es necesario conocer su función de frontera estocástica de producción.

$$ET = \frac{q}{q^*} = \frac{f(x_i, x_j, \beta)e^{v_i - u_i}}{f(x_i, x_j, \beta)e^{v_i}} = e^{-u_i} \quad (3)$$

Asimismo, si el resultado para la medida de eficiencia técnica<sup>35</sup> en la ecuación (3) es cercana a uno para algún productor de café; significa que es eficiente técnicamente<sup>36</sup>. Caso contrario si es cercano a cero, se considera ineficiente. De esta manera, se puede establecer el productor cafetero más eficiente, por unidad de producción y para el sector cafetero en general de Colombia.

No obstante, una de las grandes dificultades de este método es seleccionar la forma funcional de producción apropiada (expresadas en el cuadro 1). De acuerdo con Konstantinos, Kien y Vangelis (2003), se tiene que especificar una forma funcional adecuada<sup>37</sup> que no afecte significativamente los resultados de  $ET$ <sup>38</sup>. De este modo, la ecuación (4) representa el modelo Box-Cox Cuadrático generalizado que debe estimarse previamente para definir y escoger la mejor forma funcional a la que se ajustan los datos y comportamiento de la producción cafetera por unidad y a nivel general.

Por otra parte, la forma Box-Cox debe obtenerse bajo el método de máxima verosimilitud, porque no es lineal en sus parámetros de transformación  $\delta$  y  $\lambda$ ; función expresada en la ecuación (5). Este argumento, ayudará a obtener la forma funcional más adecuada para la producción en el sector cafetero colombiano y por tipo de productor.

$$\frac{q^{2\delta} - 1}{2\delta} = \alpha_0 + \sum_{i=1}^I \alpha_i \frac{X_i^\lambda - 1}{\lambda} + \sum_{j=1}^J \alpha_j \frac{X_j^\lambda - 1}{\lambda} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^J \alpha_{jk} \frac{X_j^\lambda - 1}{\lambda} \frac{X_k^\lambda - 1}{\lambda} + \varepsilon_i \quad (4)$$

$$\text{Ln}f(\pi, \sigma^2, \alpha, \delta, \lambda) = -\frac{T}{2} \text{Ln}(2\pi) - \frac{T}{2} \text{Ln}(\sigma^2) + (\lambda - 1) \sum_{i=1}^I \text{Ln}q_i - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^I \left[ \frac{q_i^{2\delta} - 1}{2\delta} - \alpha_0 - \sum_{i=1}^I \alpha_i \frac{X_i^\lambda - 1}{\lambda} - \sum_{j=1}^J \alpha_j \frac{X_j^\lambda - 1}{\lambda} - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \alpha_{ij} \frac{X_i^\lambda - 1}{\lambda} \frac{X_j^\lambda - 1}{\lambda} \right]^2 \quad (5)$$

En la ecuación (5)  $\delta$  y  $\lambda$  son los parámetros de transformación del modelo Box-Cox generalizado de la ecuación (4). Con sus valores y acorde con el cuadro 2, es posible encontrar la función de producción flexible anidada mediante la razón de verosimilitud<sup>39</sup>

<sup>35</sup> Donde ninguna firma puede producir más, dados una cantidad de insumos.

<sup>36</sup> Donde se puede emplear menos unidades de factores para mantener el mismo nivel de producción.

<sup>37</sup> Debido a que el parámetro de eficiencia es muy sensible a la forma funcional especificada, conllevando a resultados espurios, cometiendo errores tipo I y II en las decisiones y sobre valorando o subestimado la medida de eficiencia técnica.

<sup>38</sup> Una forma funcional, que no esté correctamente especificada bajo transformaciones Box-Cox y escogida de manera aleatoria, puede conllevar a resultados sesgados del coeficiente de eficiencia,  $\gamma$ . Tomando decisiones no acertadas, debido a la sensibilidad de este con la forma funcional que se especifique o trabaje.

<sup>39</sup>  $RV = -2[\text{LN}(\pi, \sigma^2, \alpha, \delta, \lambda)_a - \text{LN}(\pi, \sigma^2, \alpha, \delta, \lambda)_b]$  y  $RV \sim \chi_r^2$ , donde  $r$  es el número de restricciones a evaluar. Para una mayor formalidad de este contexto ver Gujarati (2003, 283).

(RV) a la que mejor se ajustan los datos de la muestra y comportamiento de la producción cafetera. Por consiguiente, no tener implicaciones significativas sobre el parámetro de eficiencia técnica  $\gamma$  en FEP de la ecuación (1).

**Cuadro 2. Funciones de producción anidadas en el modelo Box Cox cuadrático generalizado**

Nombre de la función	Condición de $\theta$ y $\lambda$	Observaciones
Translog-No Homotética	$\theta = \lambda = 0$	
Leontief Generalizada-No Homotética	$\theta = \lambda = 0.5$	
Cuadrática Generalizada-No Homotética	$\theta = 0.5$ y $\lambda = 1$	
Cuadrática Raíz Cuadrada	$\theta = \lambda = 1$	
CES	$\theta = \lambda = 0$	Si en las condiciones de segundo orden $\alpha_{ii} = 0$ .
Cobb-Douglas	$\theta = \lambda = 0$	Si en las condiciones de segundo orden $\alpha_{ii} = 0$ .
Cuadrática generalizada Box-Cox	$\theta \neq \lambda \neq 0$	No se cumplen las condiciones de segundo orden $\alpha_{ii} = 0$ .

*Fuente:* autores a partir del artículo de Ornelas, Shumway y Ozuna (1994).

Sin embargo, la prueba RV solo facilita la selección de los modelos de producción cafetera flexibles anidados en la ecuación (4), limitando elegir otros no anidados como los Leontief Generalizados y Translog minflex Laurent. Igualmente ellas, son formas funcionales flexibles que pueden estimarse directamente, sin necesidad de realizar la transformación Box-Cox Generalizada. Por la limitación de RV, los criterios de Akaike<sup>40</sup> (AIC) y Schwarz<sup>41</sup> (BIC), con menor valor en cada forma funcional a estimar, son los que finalmente determinarán la función de producción implícita en la ecuación (4) o las que no se anidan en esta. Estos criterios, permiten comprar directamente distintos modelos anidados y no anidados en Box-Cox generalizado para elegir la mejor forma funcional de acuerdo con los resultados a obtener.

### III. Estudios en economía de la producción mediante FEP

Actualmente existen estudios con aplicaciones de análisis para eficiencia técnica y *economías de escala*, en el sector agrícola<sup>42</sup> y otros sectores a través de FEP. En Colombia, en el sector arrocero se realizó una tesis mediante FEP (Morales, 2005) y existen muy

<sup>40</sup>  $AIC = -2 \frac{\ln \left[ L(\pi, \sigma^2, \alpha_i, \delta, \lambda) \right]}{T} + 2 \frac{k}{T}$ , donde  $L$  es la función de verosimilitud,  $T$  el número de observaciones y  $k$  número de parámetros estimados.

<sup>41</sup>  $BIC = -2 \frac{\ln \left[ L(\pi, \sigma^2, \alpha_i, \delta, \lambda) \right]}{T} + \frac{k \ln(T)}{T}$

<sup>42</sup> Pero no en café a nivel nacional.

pocos con enfoque agrícola bajo esta técnica, aunque en otros sectores como los de servicios hospitalarios y administración de empresas del estado han aplicado FEP. A continuación se hace, énfasis en trabajos realizados a nivel internacional y nacional en el sector agrícola y cafetero, utilizando esta metodología.

Kumbhakar (1993), analizó los efectos sobre la rentabilidad de las fincas lecheras en Utah, cuando se incrementaban o disminuían el precio de los insumos según el tipo de productor (grande, pequeño y mediano), analizando los insumos mano de obra, capital y tierra los años de escolaridad del productor. La importancia del estudio en esta investigación, es el análisis de las economías de escala por tamaño de productor; de igual manera la estimación de eficiencia técnica a partir de funciones de producción y costos para el sector lechero, derivado de la aplicación de técnicas paramétricas por tipo de productor. Como se realizará, para la eficiencia técnica en el presente estudio de la zona cafetera colombiana.

En este estudio, Kumbhakar encontró ineficiencia técnica en los tres grupos (pequeños, mediano y grandes), adicionalmente que las fincas medianas y grandes tenían capacidad de soportar los cambios en el precio de los insumos, mientras las pequeñas no y los beneficios son más bajos en términos relativos en las parcelas pequeñas que en medianas y grandes. Los rendimientos a escala son más altos en pequeños que en medianos y grandes donde se distribuyen de la siguiente manera: para los primeros encontró rangos entre 0,7 y 0,85, en los segundos entre 0,63 y 0,74 y en los últimos 0,37 y 0,55. Finalmente, la contribución marginal de el grado de escolaridad es mayor en los medianos y grandes que en pequeños.

Una de las debilidades de la investigación de Kumbhakar, es que solo se centra en análisis de eficiencia con fronteras estocásticas, con una función flexible Translog para producción y costo. No realiza un análisis sobre otras formas funcionales flexibles posibles que puede tener la producción y los costos de la actividad lechera en Utah. Pero es de resaltar, el análisis simultaneo de producción y costos para establecer los rendimiento de escala, la eficiencia técnica y económica del sector.

Otro estudio aplicando formas funcionales de producción, fronteras estocásticas y modelos de eficiencia técnica, fue sobre los cultivos de trigo en Pakistán realizado por Battese y Broca (1997). En su trabajo, consideraron una función de producción translogarítmica y Cobb-Douglas utilizando métodos Paramétricos (fronteras estocásticas), además contaron con información de series de tiempo para cuatro ciudades en Pakistán, razón por la cual estimaron la eficiencia técnica por medio de datos panel.

Battese y Broca, determinaron con este modelo las economías de escala presentadas en la producción de trigo, las elasticidades de cada insumo con respecto a la producción y los determinantes de ineficiencia o eficiencia técnica como: edad, escolaridad del productor y variables dicótomas que representan si es dueño o no de la finca y si ha contraído o no crédito. Para las fincas de trigo en Pakistán, encontraron una eficiencia técnica promedio de 0,9 mediante la función Translog (descartando la Cobb-Douglas porque no era adecuada a la información con la que contaban). En otras palabras, no encontraron ineficiencia técnica en la producción, las elasticidades de los factores se distribuyeron así: 0,85 en tierra, -0,026 trabajo, 0,128 fertilizantes y 0,128 semillas y cuanto a economías de escala encontraron rendimientos constantes (entre 0,9 y 0,99). Este estudio, al igual que el de Kumbhakar

(1993), descarta otras formas flexibles, relevantes al momento de establecer funciones de producción y que pueden mejorar la estimación del coeficiente de eficiencia técnica, estimado en los modelos de frontera estocástica.

Reinhard, Lovell y Thijssen (1999), estimaron la eficiencia ambiental y técnica con un modelo de datos panel en las fincas lecheras de Dutch. Los excedentes de nitrógeno generados por el crecimiento excesivo en la aplicación de las cantidades de abono y fertilizantes químicos son tratados como un perjuicio al insumo ambiental. Especificaron una frontera de producción estocástica translog para estimar la eficiencia técnica de producción, la ambiental fue calculada con la orientación de eficiencia técnica y los excedentes de nitrógeno para cada finca. Los resultados y conclusiones que obtuvieron consistieron en una media de eficiencia técnica alta, 0,894, pero el promedio de orientación de los insumos de eficiencia ambientales es tan solo de 0,441. La intensidad en las fincas lecheras grandes es técnica y ambientalmente más eficiente que las pequeñas.

La investigación de Thanda y Matthias (1999), es importante en el estudio de café por el tratamiento que le dan a los diferentes tipos de productores (pequeños, medianos y grandes) de arroz y las políticas que recomiendan a partir de los resultados. Ellos tratan de buscar una mejor distribución en la eficiencia y productividad de irrigación en los cultivos de arroz en Myanmar. En este análisis, realizan aproximaciones por medio de fronteras estocásticas, estimando funciones de producción Cobb-Douglas y Translog con datos agrupados durante la cosecha de arroz de 1997.

Determinan, mediante la razón de verosimilitud (RV) que la función de producción asociada a los pequeños es una Cobb-Douglas y para medianos y Grandes Translog. Este análisis de elección de la función de producción realizada por Thanda y Matthias, es importante en el presente documento porque se quiere determinar la función de producción cafetera por tipo de caficultor y el sector general. Sus resultados empíricos, indicaron que la muestra de áreas irrigadas usadas en la producción de arroz tiene un importante papel en el incremento de la producción, la ineficiencia técnica (0,36) resultó representativa en los pequeños que no aplican fertilizantes y no significativa (0,99) para grandes con esta misma característica.

En este mismo estudio, la eficiencia técnica de los pequeños agricultores que no usan fertilizantes es menos de 0,85 equivalente a un 45% de la muestra del total de agricultores. Ellos, pueden incrementar la producción, eficiencia y fortalecer la siembra de arroz, dado que el signo positivo del coeficiente de las semillas en pequeños y medianos agricultores indica como han aumentado su rendimiento como la cantidad de semillas sembradas. Finalmente, las políticas recomendadas derivada del estudio para incrementar la eficiencia en las fincas arroceras son una mejora en la capacidad del recurso humano y extensión en el conocimiento para mejorar la productividad en los cultivos, los cambios tecnológicos pueden ser fuente para incrementar la productividad del cereal en el futuro. “Para esto, el gobierno debe continuar incrementando el apoyo a la inversión pública en infraestructura y tecnología como carreteras, irrigación, investigación y extensión (ayuda técnica)”. Al igual que los estudios anteriores, predomina la estimación de funciones Translog y Cobb-Douglas.



Finalmente en el sector agrícola Konstantinos , Kien y Vangelis (2003), examinaron los efectos de las especificaciones de las formas funcionales sobre la estimación de la eficiencia técnica, usando datos panel para las fincas de olivo en Grecia entre 1987 y 1993. Este estudio es uno de los más relevantes, para encontrar la función de producción adecuada y coeficiente de eficiencia más consistente para la producción de café en los distintos productores del eje cafetero colombiano.

Konstantinos, Kien y Vangelis determinaron la sensibilidad del parámetro de eficiencia a la función de producción establecida bajo frontera estocástica, ésta es la gran contribución de la investigación de ellos tenida en cuenta para el trabajo del eje cafetero. A partir de la transformación cuadrática generalizada Box-Cox obtienen las distintas formas funcionales de producción anidadas en la función (*véase* cuadro 2) y con la prueba RV seleccionan la función de producción más adecuada para FEP.

Los resultados encontrados, indican que las medidas de eficiencia técnica son muy sensibles a la especificación y elección de la forma funcional. Quizás, lo más importante de la elección de la forma funcional es la identificación de los efectos del comportamiento de los factores a nivel individual; identificando las fuentes de ineficiencia técnica. En su análisis, también mostraron que cuando se busca bajo una estrecha alternativa factible la especificación, la identificación de la especificación funcional más apropiada puede ser no siempre factible estadísticamente.

Sin embargo, el hallazgo de la mejor forma funcional y estimación mediante el método de máxima verosimilitud, no descarta los problemas internos (heteroscedasticidad, multicolinealidad, sesgo de especificación, autocorrelación espacial) que puedan contener los modelos realizados en los estudios analizados y en el trabajo de Konstantinos , Kien y Vangelis (2003). Este trabajo, abre paso a la crítica de los estudios realizados mediante métodos paramétricos, alguno de ellos expuestos anteriormente, debido a que ninguno tiene en cuenta la transformación Box-Cox para establecer la forma funcional. Razón por la cual, los resultados encontrados posiblemente son sesgados en los parámetros de eficiencia obtenidos en cada análisis.

Continuando con el empleo de la metodología FEP, en producción de café Cárdenas, Vedenov y Houston (2005) con información sobre insumos y cantidad producida de café para 24 distritos de Veracruz México entre 1997 y 2002; estiman una función de producción Translog, con un modelo de datos panel, encontrando valores entre 0,0004 y 0,1831 en la eficiencia técnica (ET), determinado así ineficiencia en la producción del grano en esta región niveles. Por otra parte, a diferencia con nuestro estudio, los autores analizan el sector cafetero general sin discriminar por tipo de productor, no analizan economías de escala y no tiene en cuenta la sensibilidad del parámetro de eficiencia con la forma funcional especificada.

Coelli y Fleming (2003) con FEP, también analizan la ET para los pequeños caficultores en Papau (Nueva Guinea). Ellos estiman un Panel (2001-2002) para 18 hogares, realizan un análisis multiproducto y multinsumos entre producciones de pan coger y producción de café. Toman como variable dependiente la distancia entre los errores de la FEP y entre las independientes el área cultivada en otros productos y café, mano de obra, la producción de

café, la el valor de la comercialización de los otros cultivos. Encuentran rendimientos crecientes a escala, un promedio de ET de 0,78 e ineficiencia en la producción de los pequeños agricultores. Adicionalmente, determinan que los factores edad femenina cabeza de familia y sus años en educación influyen positivamente en la ET; mientras, las obligaciones sociales y familiares tienen relación negativa.

En Latinoamérica, Mosheim (2002) determinó con DEA la ET, EA (Eficiencia Asignativa) y EE (Eficiencia Económica) para los procesadores (comprendidos por cooperativas cafeteras y firmas inversionistas en café) del sector cafetero en Costa Rica. Wollni (2007) mediante FEP encontró la eficiencia productiva en fincas cafeteras del mismo país. Saravia (2007) empleó FEP para estimar eficiencia y comportamiento de la industria cafetera de Nicaragua bajo cambios de políticas ambientales.

Joachim, Kalilou, Ibrahim y Gwedoline (2003), obtuvieron evidencia de la ET en África con DEA (bajo el supuesto de Rendimientos Constantes a Escala y Rendimientos Variables a Escala), en la región Côte d'Ivoire. Ríos y Gerald<sup>43</sup> (2005), en Vietnam estudian la ET y EA para 209 fincas, de acuerdo a su área cultivada en café y sus determinantes. Recientemente, se han desarrollado estudios en distintos sectores con FEP como el de Donnell y Griffiths (2006) donde analizan el riesgo, de las tecnologías empleadas en el cultivo de arroz en Filipinas y las decisiones bajo incertidumbre; Lohr y Park (2006), con FEP evalúan el rendimiento de los programas de producción orgánica, promovido por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos.

A manera de conclusión de la revisión literaria internacional y nacional, gran parte de los estudios realizados en el sector agrícola en distintos países examinan las ineficiencias, economías de escala y estimación de elasticidades de producto-insumo; postulando distintas formas funcionales flexibles de producción o costos (las más empleadas translogarítmica y Cobb-Douglas) a través de modelos de fronteras estocásticas. Adicionalmente algunos de los estudios realizan simultáneamente análisis no paramétricos para la estimación de eficiencia y los comparan con las técnicas paramétricas. Los resultados obtenidos en los estudios, muestran el estado actual de la situación agrícola para poder postular las posibles soluciones a los problemas económicos encontrados. Rescatando todos los aspectos buenos y malos, que contribuyan a mejorar la calidad de la investigación de funciones de producción y eficiencia técnica mediante fronteras estocásticas, en el eje cafetero colombiano y de esta manera postular políticas económicas que puedan repercutir en beneficio del sector.

#### **IV. Modelo de producción para las fincas de la zona cafetera de Colombia**

A partir de una función de producción convencional o flexible, como las expuestas anteriormente, se quiere explicar el comportamiento de la producción en la región de estudio en Colombia. Con esta misma, construir el modelo cafetero de la zona que ayude a entender la relación insumo producción del grano y encontrar la ET por tipo de productor. Los datos para este estudio se obtuvieron a partir de información primaria, de la encuesta

---

<sup>43</sup> El Trabajo de ellos se basó en el estudio de Joachim Binam, Kalilou Silla, Ibrahim Diarra y Gwedoline Nyambi (2003).

cafetera aplicada, en 999<sup>44</sup> fincas de los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda por la Facultad de Economía-Centro de Investigaciones Sobre el Desarrollo Económico, CEDE, de la Universidad de los Andes<sup>45</sup> en el año 2004<sup>46</sup> (entre marzo y abril).

En la encuesta se describen las principales características<sup>47</sup> de los diferentes tipos<sup>48</sup> de caficultores entrevistados. Entre las cuales se pueden resaltar las principales variables relacionadas con la producción de café, tomadas de la encuesta para este trabajo. Retomando la ecuación (1) de frontera estocástica de producción y reemplazando las variables seleccionadas se obtiene la relación de producción cafetera para el eje cafetero colombiano y por tipo de productor a estimar.

$$(6) \quad P5_i = f(P1_i, L_i, CA_i, MA_i, PI_i^2, L_i^2, CA_i^2, MA_i^2, PIL_i, PICA_i, PIMA_i, LCA_i, LMA_i, CAMA_i, \beta) e^{\eta_i}$$

En la ecuación anterior se tiene:

- ✓ **P5**: Producción total de café en arrobas para el año 2003. Incluye la cosecha travesía (p3), la principal (p4) y el Re-Re (p2).
- ✓ **P1**: Área productiva de café para el año 2003 en hectáreas.
- ✓ **L**: Mano de obra empleada, construida a partir de la variable C5 (número de empleados contratados en la finca para la producción cafetera, al año), S25 y S26 (Representan el números de personas que trabajan en la finca y pertenecen a la familia del caficultor).
- ✓ **CA**: Es las agregación de la cantidad de fertilizantes<sup>49</sup> (C10, Kg), fungicidas (C14, Lts), herbicidas (C18, Lts), Insecticidas (C22, Lts) y pesticidas (C26, Lts) empleados en la producción, esta variable es la agregación de los químicos utilizados.
- ✓ **MA**: Maquinaria utilizada en la caficultura, es la suma de todos los implementos que están en el beneficiadero, es la mejor Proxy al componente tecnológico utilizado por los productores. M4 (número de despulpadoras), M10 (número de desmucilagadoras), M16 (número de moto bombas), M22 (número de motores), M28 (número de silos), M34 (cantidad de fumigadoras), M40 (número de guadañas) y M46 (número de motosierras).

<sup>44</sup> Información de Corte Transversal. Finalmente solo se trabajaron con 990 observaciones y se eliminaron nueve inconsistentes.

<sup>45</sup> Financiado con Recursos de la Universidad de Maryland. Bajo la dirección del profesor Darrell Hueth, Ph.D. en Economía Agrícola, con el apoyo de la Federación Nacional de Cafeteros en Colombia, la colaboración valiosa y especial dentro de la organización de Diego Pizano, Julián García, Alfonso Ángel Uribe, Oscar Jaramillo García y Omar Acevedo Chamorro.

<sup>46</sup> La encuesta se aplicó en el año 2004, recolectando la información de los cafeteros para el año 2003.

<sup>47</sup> Socioeconómicas, producción del grano y otras actividades en la finca, financieras, relacionadas con la asistencia técnica, geográficas, ambientales, propias y entorno de la finca y vivienda.

<sup>48</sup> Pequeños (entre 0 y 2,1 Hectáreas productivas en café, 662 observaciones en la encuesta equivale a 66,87% de la muestra total), medianos (entre más de 2,1 y 6,9 Hectáreas productivas en café, 250 observaciones en la encuesta equivale a 25,25% de la muestra total) y grandes (más de 6,9 Hectáreas productivas en café, 78 observaciones en la encuesta equivale a 7,88% de la muestra total).

<sup>49</sup> Factor de conversión de unidades: 1 libra equivale a 0,45359237 Kl, 1 galón equivale a 8,33 libras y a 3,785305 litros. Véase página WEB, <http://www.proteccioncivil.org/vademecum/vdm017.htm#1704d>

- ✓  $PI^2$ ,  $L^2$ ,  $CA^2$  y  $MA^2$ , son las expresiones cuadráticas de los principales insumos requeridos en la producción. Al igual a nivel individual pueden tomar valores en logaritmo, raíz cuadrada entre otros de acuerdo con las funciones de producción y las transformaciones tipo Box-Cox cuadráticas generalizadas, expuesta en el capítulo II.
- ✓  $PICA$ ,  $PIL$ ,  $PIMA$ ,  $LCA$ ,  $LMA$  y  $CAMA$ , son las interacciones entre los insumos y toman valores en logaritmo, raíz cuadrada u otras funciones matemáticas de acuerdo con las funciones de producción y las transformaciones tipo Box-Cox cuadráticas generalizadas, expuesta anteriormente.

Siguiendo con la misma connotación de la ecuación (4), en el modelo Box-Cox Cuadrático Generalizado, las expresiones de las variables independientes se reemplazan por los insumos y sus interacciones al igual que la dependiente por la producción de café. El mismo símil en cada forma funcional flexible anidada en la función Box-Cox y convencionales descritas en el cuadro 1. Una vez establecida la relación, se estimaran las funciones de fronteras estocásticas de producción cafetera para determinar la eficiencia técnica y la forma funcional de producción a la que se ajusta el comportamiento de la producción cafetera general y por tipo de productor en la región de estudio colombiana.

## **V. Resultados de la forma funcional y análisis de economías de escala para la producción cafetera en Colombia**

En esta parte se presentan los resultados<sup>50</sup>, análisis de las funciones de producción y ET obtenidos mediante la estimación de FEP para los pequeños, medianos, grandes y sector general de caficultores. Además de estas funciones de producción flexibles anidadas en la cuadrática Box-Cox generalizada se estimaron de manera directa la Translog, Leontief Generalizada minflex Laurent<sup>51</sup> y cuadrática convencional. Estas, son las tres últimas que aparecen en cada cuadro<sup>52</sup> donde se muestran los resultados de las estimaciones realizadas por unidad productiva.

### **A. Estimación del modelo cafetero y ET para pequeños productores de la zona, a partir de FEP**

En esta parte se presentan los resultados obtenidos mediante la estimación de FEP para los pequeños caficultores. En el cuadro 3 puede apreciarse que la forma funcional de producción, que siguen las unidades pequeñas para la zona cafetera del país, es una

---

<sup>50</sup> Las estimaciones de estos modelos se realizaron mediante Stata 9 (Frontera Estocástica) e Eviews 4.1 (Box-Cox). Empleando estimaciones robustas y por Mínimos Cuadrado Generalizados para remover el componente de Heteroscedasticidad y Autocorrelación residual.

<sup>51</sup> Ver Konstantinos, Kien y Vangelis (2003, 81).

<sup>52</sup> Como en la Cuadro 3 para los pequeños productores.

Translog minflex Laurent<sup>53</sup>. Los criterios de selección del modelo, comparado con los no anidados e implícitos en Box-Cox cuadrático generalizado, fueron los de AIC y BIC<sup>54</sup>.

**Cuadro 3. FEP pequeños productores**

	Cuadrática generalizada Box-Cox	Translog-Transformada desde CGBC	Leontief Generalizada desde CGBC	Cuadrática Normalizada desde CGBC	Raíz Cuadrada Cuadrática	Elasticidad de sustitución Constante	Cobb-Douglas	Translog	Leontief Generalizada	Cuadrática Convencional
Variable	CGBC	TLCGBC	LGCGBC	QN	QRC	CES	CD	TL	LG	QC
Constante	5.1238723	3.968683***	29.96749	56.97914	2306.745	5.268704	4.066919***	3.419998***	49.219	-16.84038
tierra (P1)	2.1404846***	0.8918306***	19.56354	64.77872***	1434.546	2.269015***	0.8878901***	0.7788556***	104.2951***	31.75793
Mano de obra (L)	0.70433355***	0.4493536***	15.34484***	3.698293***	323.1948	0.6452772***	0.4685451***	0.0157496***	-1.084029	1.889196
Fertilizantes (CA)	0.04819712***	0.0113032	0.6863909**	0.0480886***	8.835538***	0.0474524***	0.0303889***	0.6505823	0.0016066	0.0628385***
Maquinaria (MA)	0.3718584***	0.103974***	8.698136	5.328862*	411.5735	0.1287212***	0.0275672***	0.2098384***	1.374729	8.807975
P12	-	-	-	-	-	-	-	0.0089446	(-84.91113)***	14.54999
L2	-	-	-	-	-	-	-	-0.0996809	-7.461878	(-0.0491681)***
CA2	-	-	-	-	-	-	-	0.0133605***	0.3538563	(-0.0000102)***
maq2	-	-	-	-	-	-	-	0.0365599***	-1.648577	-0.7354321
PIXL	0.215840	0.0245723	26.23024***	5.77562**	2633.038***	-	-	(-0.0222383)***	41.20967	2.220996
PIXca	(-0.0390907)**	(-0.0332438)***	1.093103**	0.0404694**	21.89757***	-	-	0.0525871	1.022295***	0.0097292*
PIXma	0.1719587	0.0353722	10.74741	-1.713041	455.4864	-	-	0.0125294	11.82213	0.7294544
LxCA	(-0.12639487)	0.01297	0.0686377	-0.0008239	0.2544463	-	-	0.0025662	0.344339	0.001091
LXMA	-	(-0.0714836)**	2.720545	1.497126***	627.9712***	-	-	(-0.035776)**	6.458284	0.6390973**
CAXMA	-0.0092981	(-0.0026219)	(-0.4740538)**	(-0.0244182)***	(-8.27752)***	-	-	-0.0023023	(-1.030017)**	(-0.0109321)***
delta	0.10440845	0	0.5	0.5	1	-	0	-	-	-
lambda	0.2797122	0	0.5	1	1	-	0	-	-	-
LN de v	0.65077551***	(-1.656185)***	8.674061***	8.664563***	20.57648***	0.6648991***	(-1.780618)***	(-1.730281)***	8.66267***	8.631828***
LN de u	(-5.077253)	(-1.747555)***	(-5.30543)	-5.305432	-5.485953	-5.169036	(-0.6018519)***	(-1.744745)***	-5.305431	-5.305433
sigma v	1.38457	0.4368819***	76.4801***	76.11774***	29385.06***	1.39438***	0.4105289***	0.4209924***	76.04575***	74.88203***
sigma u	0.07897	0.417372***	0.0704597	0.0704596	0.0643784	0.0754324	0.7401326***	0.4179587***	0.0704596	0.0704596
Sigma cuadrado	1.92326	0.3650651***	5849.211***	5793.915***	863000000***	1.949984***	0.7163302***	0.3519241***	5782.96***	5607.324***
Gamma	0.05704	0.9553428***	0.0009213	0.0009257	0.00000219	0.0540975	1.802876***	0.9927941***	0.0009265	0.0009409
Log Likelihood frontera	-1155.13	-1337.1655	-3810.4517	-3807.3076	-7750.1534	-1159.7704	-598.68272	-572.23825	-3806.6812	-3796.4725
Log Likelihood-Ratio/u=0	0	35.40***	0	0	0	0	24.44***	40.20***	0	0
Media de ET	0.9399795	0.705911	0.9461736	0.9461736	0.9506369	0.9425484	0.6067874	0.7057196	0.9461736	0.9461736
Wald	1845.59***	1669.25	937.49***	952.75***	298.64***	1810.75***	1539.62***	1786.66***	955.81***	1006.48
AIC	2334.2694	1199.1052	7646.9033	7640.6153	15526.307	2333.5407	1211.3654	1178.4765	7647.3625	7626.9449
BIC	2388.2126	1257.5437	7705.3418	7699.0537	15584.745	2365.0076	1242.8323	1254.896	7723.782	7703.3645
Número de observaciones (T)	662	662	662	662	662	662	662	662	662	662

Variable significativa al (\*) 10 por ciento, (\*\*) cinco por ciento y (\*\*\*) uno por ciento. -No calculo errores estándar, no existe criterio para decidir significancia parcial.

Fuente: encuesta cafetera CEDE (2004), cálculo autores.

En el cuadro 3, es observable la sensibilidad del parámetro de eficiencia Gamma,  $\gamma$ , dado que su valor difiere bajo cada frontera de acuerdo a la forma funcional. Así, el sector de los pequeños productores refleja ineficiencia técnica en las funciones anidadas Translog, Cobb-Douglas y no anidada Translog minflex Laurent. En las demás funciones, no es rechazada la hipótesis que los pequeños productores de la región operan bajo eficiencia técnica. Una vez seleccionada la forma funcional, en el cuadro 3, puede concluirse que los pequeños caficultores de la región operan con ineficiencia técnica como lo refleja el estadístico Log Likelihood -Ratio/u = 0- y el valor de  $\gamma$ , significativos al uno por ciento. Donde se resalta

<sup>53</sup> Resultó el modelo con Akaike y Schwarz más bajo entre los 10 modelos estimados.

<sup>54</sup> Véase p. 9.

la relación inversa existente entre la ineficiencia técnica y su nivel de producción cafetera, por un incremento del 1% en la ineficiencia técnica la producción de café para esta unidad disminuye en 1,75% aproximadamente; dejando las demás variables constantes.

La media de eficiencia técnica obtenida en FEP de la función elegida se ubica en 0,70 aproximadamente. Cabe destacar en este modelo, que la producción esta explicada por ineficiencia estocástica y técnica; la primera son factores exógenos<sup>55</sup> a la actividad no controlables por los caficultores y la segunda hace referencia al manejo de los insumos en la caficultura (esto se ve expresado en la significancia de los coeficientes Ln de v y u). Continuando la descripción del modelo final, se encontró que el insumo cantidad de químicos (CA), el cuadrado del área productiva en café (P12) y mano de obra (L2), las combinaciones entre los insumos área productiva en café (P1)-cantidad de químicos (CA), área productiva en café (P1)-Maquinaria (MA) y mano de obra (L2)-Cantidad de químicos empleados (CA) no son significativos en la función. Es de resaltar que el signo negativo en estas interacciones o en los términos cuadráticos no se debe interpretar como insumos sustitutos o relaciones inversas a la cantidad producida de café<sup>56</sup>. Para conocer si la relación es directa o inversa conviene calcular las elasticidades de cada factor y con ellas estimar las economías de escala que siguen los pequeños caficultores de la zona (véase cuadro 4).

**Cuadro 4. Elasticidades y economías de escala en los pequeños productores**

	Cuadrática generalizada Box-Cox	Translog-Transformada desde CGBC	Leontief Generalizada desde CGBC	Cuadrática Normalizada desde CGBC	Raíz Cuadrada Cuadrática	Elasticidad de sustitución Constante	Cobb-Douglas	Translog	Leontief Generalizada	Cuadrática Convencional
Variable	CGBC	TLCGBC	LGCGBC	QN	QRC	CES	CD	TL	LG	QC
tierra (p1)	0.0185	0.8647	0.8346	0.8031	150.7557	0.0194	0.8879	0.8111	2.7258	24.8830
Mano de obra (L)	-0.0064	0.4652	0.4445	0.3167	57.0395	0.0101	0.4685	-0.3021	-0.0372	0.1733
Fertilizantes (ca)	-0.0073	0.0263	0.1158	0.1423	22.2957	0.0024	0.0304	0.6855	5.6125	24.2089
Maquinaria (maq)	0.0031	0.0255	0.0372	0.0738	9.9653	0.0014	0.0276	0.1310	0.0264	0.0028
Retornos a Escala (RTS)	0.0079	1.3818	1.4321	1.3358	240.0562	0.0333	1.4144	1.3254	8.3275	49.2679

Fuente: encuesta cafetera CEDE (2004), cálculo autores.

El cuadro 4, describe los *retornos a escala* de cada forma funcional de producción destacando la del modelo seleccionado Translog minflex Laurent. Como puede observarse existen *economías crecientes a escala* (1,32) para los pequeños cafeteros en la región de estudio colombiana. Destacando, la relación inversa entre mano de obra y producción, la combinación de este insumo con el resto se comporta como factores sustitutos en la actividad cafetera de los pequeños; aunque, los demás factores tienen relación directa y tienen un comportamiento de insumos complementarios con la producción de las pequeñas unidades cafeteras.

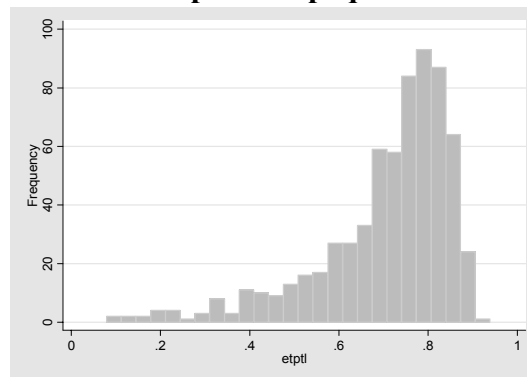
El factor más importante en la producción de los pequeños caficultores, es el área productiva, dado que su incremento del 1% aumenta la producción en 0,8% (*ceteris paribus* los demás factores), seguido por la cantidad de insumos químicos empleados y la maquinaria disponible. Finalmente, se encuentra la mano de obra utilizada en el cultivo, la

<sup>55</sup> Puede ser el reflejo de la crisis cafetera internacional, problemas estructurales o factores climáticos, control de plagas o enfermedades de los cafetales de fincas vecinas e incertidumbre como el comportamiento de los precios internacionales del producto, que los productores no tienen facilidad de controlar.

<sup>56</sup> Véase Greene (1998, 301).

cual hace decrecer la producción en 0,3% ante su acentuación en 1% (*ceteris paribus* los demás factores). Estos resultados, adicionalmente indican en el modelo Translog, que los factores área productiva, insumos químicos y maquinaria se encuentran en la segunda etapa de producción; por tanto su producto marginal es menor al medio. A partir de la función de producción Translog, ajustada para los pequeños productores, se obtuvo la *ET* de ellos (etptl); la cual se representa en la gráfica 2.

**Gráfica 2. Resumen de la ET para los pequeños mediante FEP (etptl) <sup>57</sup>**



*Fuente:* cálculos autores.

En la gráfica, puede apreciarse el sesgo negativo de la muestra; implicando que la mayor parte de la muestra están ubicados por encima del promedio de ET (70%) y debajo de la eficiencia máxima (100%). Únicamente entre 80 y 100 productores del total de pequeños logran un máximo de eficiencia técnica del 80%, con un 20% restante a mejorar; pero ninguno alcanza a tener el 100% de ET.

### **B. Estimación del modelo cafetero y ET para medianos productores de la zona, a partir de FEP**

De acuerdo con los criterios empleados para los pequeños productores, en el cuadro 5 se aprecia que la forma funcional de producción ajustada a las unidades medianas para la zona cafetera del país es una Translog minflex Laurent. Igualmente, se observa la sensibilidad del parámetro de eficiencia Lambda,  $\gamma$ , sobre la frontera de cada forma funcional. Por consiguiente, puede concluirse que los medianos caficultores de la región operan bajo ineficiencia técnica, como lo refleja el estadístico Log Likelihood - Ratio/u = 0 - y el valor de  $\gamma$ , significativo a 1%, rechazando la hipótesis nula de eficiencia técnica para esta unidad.

<sup>57</sup> El eje X representa el porcentaje de *ET* y el Y representa la frecuencia (el número de caficultores) a que le corresponde el valor de *ET* en el eje X. Estas mismas relaciones se aprecian más adelante en las gráficas de medianos, grandes y sector general de productores.

**Cuadro 5. FEP medianos productores**

	Cuadrática generalizada Box-Cox	Translog-Transformada desde CGBC	Leontief Generalizada desde CGBC	Cuadrática Normalizada desde CGBC	Raíz Cuadrada Cuadrática	Elasticidad de sustitución Constante	Cobb-Douglas	Translog	Leontief Generalizada	Cuadrática Convencional
Variable	CGBC	TLCGBC	LGCGBC	QN	QRC	CES	CD	TL	LG	QC
Constante	4.839267***	3.870773***	85.1005	109.2777	82220.93	3.931516***	3.781621***	3.588209***	-548.914	-307.2732
tierra (PI)	0.3177831	0.6318447	-50.2231	32.11637	10946.72	1.287158***	0.7709093***	1.059406	-304.7304	207.259**
Mano de obra (L)	0.5493903	0.4113319**	-4.805568	-0.4785866	(-15280.77)***	0.9982076***	0.5939171***	0.0360725	(-13.18877)***	5.930553
Fertilizantes (CA)	0.09703**	0.0257941	3.460655***	0.1054529***	103.9016***	0.006465	0.0039236	0.3270929	0.0447946*	0.1037987***
Maquinaria (MA)	0.0889246	0.0535456	-59.44056	-10.62579	-16378.52	-0.0441004	-0.0275618	0.2155065	77.52902***	-37.01516
P12	-	-	-	-	-	-	-	-0.6124607	409.5339	(-25.37862)*
L2	-	-	-	-	-	-	-	-0.0258258	(-71.81084)*	(-0.1000781)***
CA2	-	-	-	-	-	-	-	0.0075884*	7.264347***	-0.000000461
maq2	-	-	-	-	-	-	-	0.0472079***	(-193.4205)**	2.355374
PIXL	0.8668006	0.2390886	49.40328**	4.184072**	7314.815***	-	-	0.2480517	(-5.924077)**	-0.0047993
PIXca	(-0.14180730)*	(-0.0979283)***	-1.67921	(-0.0307854)*	-18.21227	-	-	(-0.057085)**	(-17.5477)**	2.680635***
PIXma	0.0397155	0.0371675	138.8287**	37.52471**	4979.184	-	-	-0.023344	55.37728	8.437145
LxCA	-0.064437	0.0306848	0.1258448	0.0003592	-1.429853	-	-	0.0082426	-0.294159	-0.0007247
LXMA	-	-0.0444731	8.24835	0.4611916	5105.517***	-	-	-0.0440615	31.48502	0.6986436
CAXMA	-0.0218968	-0.0122983	(-1.979027)**	(-0.0242132)***	(-27.28844)**	-	-	0.0028363	(-2.483498)**	(-0.010472)***
delta	0.03753775	0	0.5	0.5	1	0.03753775	0	-	-	-
lambda	-0.0250891	0	0.5	1	1	-0.0250891	0	-	-	-
LN de v	(-1.341833)***	(-2.219312)***	11.18218***	11.15925***	25.0988***	(-1.277476)***	(-2.330614)***	(-2.360688)***	11.07838**	11.00249***
LN de u	-0.138609	(-2.049211)***	-5.215067	-5.215066	-5.843077	-0.1355682	(-0.9135175)***	(-1.050342)***	-5.215065	-5.215065
sigma v	0.5112398***	0.3296724***	268.028***	264.9724***	281925.7***	0.5279583***	0.3118269***	0.307173***	254.472***	244.9973***
sigma u	0.9330425***	0.358938***	0.0737162	0.0737162	0.0538508	0.9344622***	0.6333331***	0.5914542***	0.0737162	0.0737162
Sigma cuadrado	1.131935***	0.2375204***	71839.01***	70210.38***	79500000000***	1.15196***	0.4983469***	0.4441734***	64756.01***	60023.66***
Gama	1.825058***	1.088772***	0.000275	0.0002782	0.000000191	1.769955***	2.03104***	1.925476***	0.0002897	0.0003009
Log Likelihood frontera	-282.52554	-165.18229	-1752.5075	-1749.6411	-3492.0843	-286.69636	-173.04845	-162.18898	-1739.5323	-1730.0464
Log Likelihood-Ratio/ u=0	10.85***	23.17***	0	0	0	10.70***	15.47***	11.50***	0	0
Media de ET	0.5462108	0.7369168	0.9437971	0.9437971	0.9584427	0.5457254	0.6478669	0.664088	0.9437971	0.9461736
Wald	325.26***	371.31***	302.47	315.28***	382.82	321.49***	323.87***	365.03***	362.89***	411.22
AIC	589.05108	356.36457	3531.015	3525.2821	7010.1686	587.39272	360.09691	358.37797	3513.0647	3494.0928
BIC	631.30861	402.14356	3576.794	3571.0611	7055.9476	612.04295	384.74713	418.2428	3572.9295	3553.9576
Número de observaciones (T)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250

Variable significativa al (\*) 10 por ciento, (\*\*) cinco por ciento y (\*\*\*) uno por ciento. -No calculo errores estándar, no existe criterio para decidir significancia parcial.

Fuente: encuesta cafetera CEDE (2004), cálculo autores.

La media de eficiencia técnica de la función elegida obtenida en FEP se ubica en 0,66 (66%) aproximadamente. Cabe destacar en este modelo, que la producción esta explicada por ineficiencia estocástica<sup>58</sup> y técnica. Esto, lo expresa la significancia de los coeficientes Ln de v y u; adicionalmente, por un incremento de 1% en la ineficiencia técnica, manteniendo constante los demás factores, la producción de café disminuye en 1,05% aproximadamente (en esta unidad de producción).

**Cuadro 6. Elasticidades y economías de escala en los medianos productores**

	Cuadrática generalizada Box-Cox	Translog-Transformada desde CGBC	Leontief Generalizada desde CGBC	Cuadrática Normalizada desde CGBC	Raíz Cuadrada Cuadrática	Elasticidad de sustitución Constante	Cobb-Douglas	Translog	Leontief Generalizada	Cuadrática Convencional
Variable	CGBC	TLCGBC	LGCGBC	QN	QRC	CES	CD	TL	LG	QC
tierra (p1)	0.0023	0.7371	0.7407	0.7077	0.9939	0.0025	0.7709	0.7126	12.4591	39.9661
Mano de obra (L)	0.0016	0.6182	0.5042	0.2738	-0.0140	0.0018	0.5939	0.1993	-1.1564	0.1119
Fertilizantes (ca)	-0.0003	-0.0105	0.0504	0.1484	0.1867	0.0000	0.0039	0.2609	21.4354	39.7323
Maquinaria (maq)	0.0001	-0.0228	0.0253	0.1310	0.2478	-0.0001	-0.0276	0.1190	0.1108	0.0423
Retornos a Escala (RTS)	0.0037	1.3221	1.3207	1.2609	1.4144	0.0043	1.3412	1.2918	32.8488	79.8526

Fuente: encuesta cafetera CEDE (2004), cálculo autores.

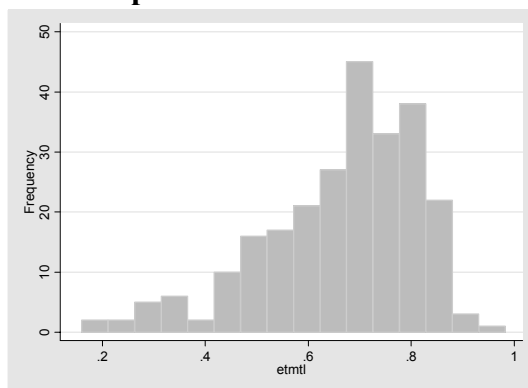
<sup>58</sup> Puede ser el reflejo de la crisis cafetera internacional, problemas estructurales o factores climáticos, control de plagas o enfermedades de los cafetales de fincas vecinas e incertidumbre como el comportamiento de los precios internacionales del producto, que los productores no tienen facilidad de controlar.



Adicionalmente en el comportamiento de los insumos de producción para los medianos cafeteros, se encontró que no son significativos a nivel parcial a excepción de la cantidad de insumos químicos (CA2) y maquinaria (MA2) al cuadrado y la relación área productiva-insumos químicos (P1CA). El cuadro 6, describe los *retornos a escala* de cada forma funcional de producción destacando la del modelo seleccionado Translog minflex Laurent.

Como se puede observar existen *economías crecientes de escala* (1,29) para los medianos cafeteros colombianos. La relación directa de los factores, indica que los factores son insumos complementarios con la producción de las medianas unidades cafeteras. El factor más importante en la producción de los medianos caficultores, es el área productiva, dado que su incremento del 1% aumenta la producción en 0,7% (*ceteris paribus* los demás factores), seguido por la cantidad de insumos químicos empleados y la mano de obra. Finalmente, la maquinaria utilizada en la producción aumenta la actividad en 0,11% cuando el monto de ella es incrementado en 1% (*ceteris paribus* los demás factores). Estos resultados, indican que todos los factores, en el modelo Translog, se encuentran en la segunda etapa de producción; por tanto su producto marginal es menor al medio.

**Gráfica 3. Resumen de la ET para los medianos cafeteros mediante FEP (etmtl)**



*Fuente:* cálculos autores.

A partir de la función de producción Translog para los medianos productores fue obtenida la *ET* para ellos (etmtl) la cual se representa en la gráfica 3. En ella, puede apreciarse que entre 30 y 38 del total de productores medianos, logran un máximo de eficiencia técnica del 70%; con un 30% a mejorar, pero ninguno alcanza a tener el 100% de eficiencia en términos técnicos.

### **C. Estimación del modelo cafetero y ET para grandes productores de la zona, a partir de FEP**

De acuerdo con los criterios empleados para pequeños y medianos productores, en el cuadro 7 puede observarse que la forma funcional de producción, ajustadas en las unidades grandes para la zona cafetera del país, es una Translog minflex Laurent. También, se aprecia la sensibilidad del parámetro de eficiencia Gamma,  $\gamma$ , de la frontera en cada forma funcional. Concluyendo que los grandes caficultores de la región operan bajo eficiencia técnica, como lo refleja el estadístico Log Likelihood -Ratio/u = 0- y el valor de  $\gamma$  cercano

a cero y no significativo. En otras palabras, no es rechazada la hipótesis nula de eficiencia técnica en este grupo.

**Cuadro 7. FEP grandes productores**

	Cuadrática generalizada Box-Cox	Translog-Transformada desde CGBC	Leontief Generalizada desde CGBC	Cuadrática Normalizada desde CGBC	Raíz Cuadrada Cuadrática	Elasticidad de sustitución Constante	Cobb-Douglas	Translog	Leontief Generalizada	Cuadrática Convencional
Variable	CGBC	TLCGBC	LGCGBC	QN	QRC	CES	CD	TL	LG	QC
Constante	16.36742***	7.006544***	1477.98	622.991	900683.5	16.50663**	5.443995***	6.800809***	2073.549	718.1312
tierra (P1)	(-1.011534)**	(-2.362763)**	(-686.7987)***	(-102.5332)***	(-985850)***	0.4066403***	0.8442928***	(-1.205935)*	65.2989	(-134.122)**
Mano de obra (L)	0.5688472***	0.6820725*	50.3613	22.37439***	85226.89**	0.3138377***	0.0723891*	-0.0600788	32.51864***	27.4662***
Fertilizantes (CA)	0.0091016**	-0.1701539	3.357024	0.0846887***	477.832*	0.0067337***	0.0411131**	0.0021442	0.1518665**	0.0491965
Maquinaria (MA)	0.4553035	1.146567***	73.00896	-9.912802	-78787.93	-0.1018527	-0.0089733	0.6646758*	-71.47949	-19.80165
P12	-	-	-	-	-	-	-	-0.3063417	(-1026.97)**	2.11484
L2	-	-	-	-	-	-	-	0.0588922***	147.1476	0.0663441***
CA2	-	-	-	-	-	-	-	0.0093397	3.325638	0.00000289
maq2	-	-	-	-	-	-	-	-0.0007724	3.821276	0.7578962
PIXL	-0.0002174	0.6226833***	57.56534***	0.0073329	7801.615***	-	-	0.3702811***	1.4493	-0.0008931
PIXca	0.0011271	0.024899	-0.5314413	0.0035732**	25.56043*	-	-	-0.005705	-6.517686	(-0.7818911)**
PIXma	0.4368567***	1.085468***	256.8927***	26.74442***	116396.3**	-	-	0.2824148**	640.0353***	19.69431***
LxCA	(-0.0848543)***	0.0714677***	0.6009153	0.0002616	(-5.963017)*	-	-	0.013733	-1.304888	0.0004516***
LXMA	0	(-1.237069)***	(-58.78849)**	(-1.255728)***	(-7092.534)**	-	-	(-0.3596796)***	(-160.4633)***	(-1.781408)***
CAXMA	(-0.0035155)*	0.0431562	-3.044651	(-0.0214131)***	-44.8425	-	-	0.0192395	-6.692944	(-0.0128224)***
delta	0.1448056	0	0.5	0.5	1	0.1448056	0	-	-	-
lambda	0.6083772	0	0.5	1	1	0.6083772	0	-	-	-
LN de v	2.397949***	(-2.073911)***	14.06757***	13.83589***	31.99787***	2.704256***	(-1.921626)***	(-2.201711)***	13.86001***	13.49795***
LN de u	-5.487339	-9.185732	-5.169911	-5.21506	(-5.124762)(-)	-5.487609	-0.6165361	-9.291806	-5.21506	-5.215061
sigma v	3.316713***	0.3545325***	1134.316***	1010.242***	8876673***	3.865643***	0.3825817***	0.3325865***	1022.498***	853.1857***
sigma u	0.0643338	0.0101238	0.0753994	0.0737164	0.0771209 (-)	0.0643252	0.7347183	0.0096009	0.0737164	0.0737164
Sigma cuadrado	11.00473***	0.1257958***	1286673***	1020588***	8800000000000	14.94733***	0.6861798***	0.1107059***	1045503***	727925.8***
Gama	0.0193969	0.0285554	0.0000665	0.000073	0.00000000869 (-)	0.0166402	1.920422**	0.0288673	0.0000721	0.0000864
Log Likelihood frontera	-204.20211	-29.825344	-659.31245	-650.2769	-1358.5943	-216.14679	-67.398853	-24.821973	-651.21755	-637.09743
Log Likelihood-Ratio/ u=0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Media de ET	0.9506698	0.9642377	0.9425724	0.9437969	0.9413225	0.9506762	0.6133342	0.9923855	0.9437969	0.9437969
Wald	461.12***	404.36***	714.64***	921.3	1109.34***	318.89***	104.74***	470.4***	897.49***	1323.07***
AIC	432.40421	85.650689	1344.6249	1326.5538	2741.1886	446.29359	148.79771	83.643947	1336.4351	1308.1949
BIC	460.68472	116.2879	1375.2621	1357.191	2769.4691	462.79055	165.29467	123.708	1376.4991	1348.2589
Número de observaciones (I)	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78

Variable significativa al (\*) 10 por ciento, (\*\*) cinco por ciento y (\*\*\*) uno por ciento. -No calculo errores estándar, no existe criterio para decidir significancia parcial.

Fuente: encuesta cafetera CEDE (2004), cálculo autores.

La media de eficiencia técnica obtenida en FEP de la función elegida se ubica en 0,99 aproximadamente. Cabe destacar en este modelo que la producción esta explicada por ineficiencia estocástica pero no por la técnica. Esto observa en la significancia en el coeficiente Ln de v y no relevancia del parámetro Ln de u. Para el comportamiento de los insumos de producción en grandes cafeteros, se encontró que no son significativos a nivel parcial mano de obra (L), los insumos químicos (CA); los términos cuadráticos del área productiva (P12), insumos químicos (CA2) y maquinaria (MA2) y las expresiones cruzadas área productiva-insumos químicos (P1CA), mano de obra-insumos químicos (LCA) y maquinaria-insumos químicos (CAMA).

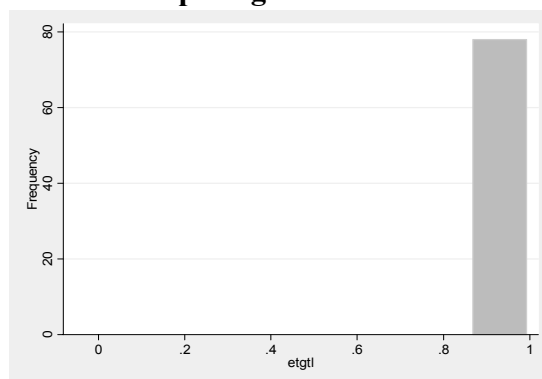
**Cuadro 8. Elasticidades y economías de escala en grandes productores**

	Cuadrática generalizada Box-Cox	Translog-Transformada desde CGBC	Leontief Generalizada desde CGBC	Cuadrática Normalizada desde CGBC	Raíz Cuadrada Cuadrática	Elasticidad de sustitución Constante	Cobb-Douglas	Translog	Leontief Generalizada	Cuadrática Convencional
Variable	CGBC	TLCGBC	LGCGBC	QN	ORC	CES	CD	TL	LG	QC
tierra (pl)	-	0.01127	0.40742	0.10541	0.04169	0.00080	0.84429	0.01464	-0.22620	-41.55249
Mano de obra (L)	-	0.61378	0.57734	0.68076	0.83703	0.00201	0.07239	0.77581	0.67791	1.12714
Fertilizantes (ca)	-	-1.12459	0.05010	0.14350	0.15107	0.00068	0.04111	-0.57645	-10.73058	-41.95328
Maquinaria (maq)	-	0.14270	-0.01905	0.03605	0.13731	-0.00014	-0.00897	0.04543	-0.02411	-0.05535
Retornos a Escala	-	-0.35684	1.01581	0.96572	1.16710	0.00335	0.94882	0.25943	-10.30298	-82.43397

Fuente: encuesta cafetera CEDE (2004), cálculo autores.

El cuadro 8, describe los retornos a escala de cada forma funcional de producción destacando la del modelo seleccionado Translog minflex Laurent. Como puede observarse existen economías decrecientes de escala (0,26) para los grandes cafeteros colombianos, relación directa de los factores. Indicando, que se comportan como insumos complementarios con la actividad; a excepción de los químicos aplicados por tener signo negativo indicándolo como un sustituto cuando se combina con los demás insumos en la caficultura de las grandes unidades en la región.

**Gráfica 4. Resumen de la ET para grandes cafeteros mediante FEP (etgtl)**



Fuente: cálculo autores.

El factor más importante en la actividad de esta unidad es la mano de obra, dado que un incremento de 1% aumenta la producción en 0,77% (ceteris paribus los demás factores), seguido por la cantidad de maquinaria y área productiva, finalmente se encuentra los insumos químicos utilizados en el cultivo; el cual, si crece su aplicación en 1% la producción decrece en 0,57% (ceteris paribus los demás factores). Estos resultados, adicionalmente indican que todos los factores se encuentran en la segunda etapa de producción; por tanto su producto marginal es menor al medio. A pesar de esto, los insumos área productiva y maquinaria están sobre la frontera de la II y III etapa de producción; donde el producto marginal de estos es igual a cero. Excluyendo los químicos que se encuentran en la tercera etapa de producción donde su producto marginal es negativo (decreciente con la producción). En la gráfica 4, puede apreciarse que todos los grandes productores logran el máximo de eficiencia técnica del 99%.

### D. Estimación del modelo cafetero y ET para el sector general de la zona, a partir de FEP

Estimar directamente un modelo FEP agrupando la muestra de pequeños medianos y grandes productores para establecer la forma funcional del modelo, conduciría a resultados estimadores ineficientes por la heterogeneidad de la información para cada tipo de productor; traduciéndose en un problema de heteroscedasticidad en el modelo; que tiende a sobrestimar la ET en los grandes y a subestimarla para pequeños. Por esto, una vez realizado las estimaciones de FEP por tipo productor se agregan las ET obtenidas en esta metodología de cada unidad de producción cafetera, para encontrar la del sector general cafetero colombiano.

**Cuadro 9. FEP sector general de productores**

	Cuadrática generalizada Box-Cox	Translog-Transformada desde CGBC	Leontief Generalizada desde CGBC	Cuadrática Normalizada desde CGBC	Raíz Cuadrada Cuadrática	Elasticidad de sustitución Constante	Cobb-Douglas	Translog	Leontief Generalizada	Cuadrática Convencional
Variable	CGBC	TLCGBC	LGCBC	QN	QRC	CES	CD	TL	LG	QC
Constante	5.137677***	4.137215***	(-107.8695)	(-43.99407)	(-4574.18.2)***	4.690214***	4.359308***	3.79877***	36.06896	(-95.70323)
tierra (P1)	1.605413***	0.9857918***	(-106.323)***	(-3.353624)	(-576025.4)***	1.652229***	0.9146163***	0.7903254***	(-102.0091)***	42.99585***
Mano de obra (L)	0.8137814***	0.4278977***	39.18537***	16.54216***	53213.72***	0.6785952***	0.2927917***	0.0249447***	15.41415***	13.8329***
Fertilizantes (CA)	0.053125***	0.0158193	1.931453***	0.0763298***	339.9057***	0.0502046***	0.0290819***	0.2657632***	0.1243638***	0.0317169***
Maquinaria (MA)	0.3547304***	0.1721882***	72.13661***	10.57839	(-25891.59)	0.0684837**	0.024162***	0.2222936***	39.1394**	14.99029
P12	-	-	-	-	-	-	-	-0.1028221)***	(-149.4436)***	(-2.748523)***
L2	-	-	-	-	-	-	-	0.101709***	7.329215	0.0199149***
CA2	-	-	-	-	-	-	-	0.0116261***	1.374773**	0.00000424***
maq2	-	-	-	-	-	-	-	0.0339482***	(-0.5932748)	1.21236
PIXL	0.0448519	(-0.0754963)**	48.15773***	0.0544868	8163.856***	-	-	-0.0159115)***	97.92911***	0.0764781
PIXca	(-0.0192383)*	(-0.0203561)**	(-0.5875539)*	0.0008483*	14.73608***	-	-	(-0.00000934)	0.8178292	0.0015397**
PIXma	0.1816851***	0.0821495***	106.4076***	18.7975***	80672.76***	-	-	0.0110474	255.1354***	10.51146***
LxCA	(-0.2215243)***	0.0111248	0.1507368	0.0001837*	(-5.573108)***	-	-	(-0.0013469)	(-1.608767)***	0.0000621
LXMA	-	(-0.1410935)***	(-27.56485)***	(-0.9253724)*	(-5574.88)***	-	-	(-0.0508806)***	(-96.97363)***	(-0.689149)***
CAXMA	(-0.0029328)	(-0.0017253)	(-0.9421158)**	(-0.0142151)***	(-14.51947)	-	-	(-0.0019151)	(-2.519229)***	(-0.013579)***
delta	0.07885005***	0	0.5	0.5	1	0.07885005***	0	-	-	-
lambda	0.1502996***	0	0.5	1	1	0.1502996***	0	-	-	-
LN de v	0.1173396	(-1.805164)***	11.86263***	11.71466**	29.54121***	0.4293801***	(-1.612976)***	(-1.850188)***	11.71524***	11.47342***
LN de u	0.0291487	(-0.7208395)***	(-5.305396)	(-5.305394)	(-5.124762)	(-7.632366)	(-0.7928342)***	(-1.872788)***	(-5.215083)	(-5.215105)
sigma v	1.060425	0.4055213***	376.649***	349.7886***	2598910***	1.239478***	0.4464232***	0.3964941***	349.8896***	310.043***
sigma u	1.014681	0.6973835***	0.0704608	0.0704609	0.0771209-	0.0220117	0.672726***	0.392039***	0.0737155	0.0737148
Sigma cuadrado	2.154079	0.6507913***	141864.5***	122352***	6750000000000-	1.536789***	0.651854***	0.3109021***	122422.7***	96126.67***
Gama	0.9568626	1.719721***	0.0001871	0.0002014	0.0000000297-	0.0177588	1.506924***	0.9887637***	0.0002107	0.0002378
Log Likelihood frontera	-1603.8714	-860.29537	-7276.7497	-7203.5047	-16027.646	-1617.3484	-896.5576	-795.46696	-7203.7905	-7084.093
Log Likelihood-Ratio/u=0	3.59 **	33.31***	0	0	0	0	24.09***	64.62***	0	0
Media de ET	0.5200934	0.6224422	0.9461727	0.9461726	0.9413225	0.9826767	0.6317704	0.7190257	0.9437975	0.9437981
Wald	6544.56***	5415.97***	10906.06***	12803.22***	14220.82***	6378.62***	4591.83***	6051.99***	12795.26***	16566.3***
AIC	3231.7428	1727.1579	14579.499	14433.009	32079.292	3248.6967	1807.1152	1624.9339	14441.581	14202.186
BIC	3290.5153	1790.8281	14643.17	14496.68	32138.064	3282.9807	1841.3991	1708.1949	14524.842	14285.447
Número de observaciones (T)	990	990	990	990	990	990	990	990	990	990

Fuente: encuesta cafetera CEDE (2004), cálculo autores.

En los cuadros 9 y 10 son expuestos los resultados para el sector general, agrupando los medianos, pequeños y grandes productores. Donde la función de producción del sector general cafetero es una Translog minflex Laurent, con ineficiencia técnica, exhibe economías crecientes a escala y los factores más importante de producción es el área productiva de café y mano de obra empleada en el cultivo. La media de eficiencia técnica

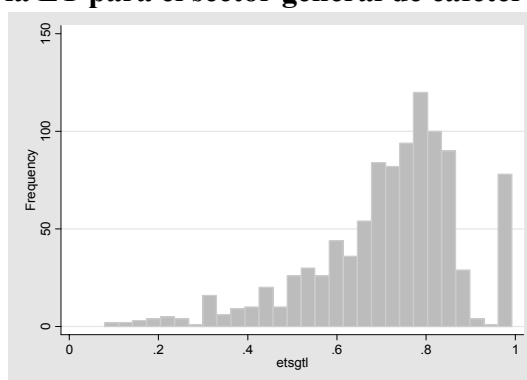
del 71,9% que no diverge de la obtenida y agregada en la estimación por unidad productiva de 71,8%.

**Cuadro 10. Elasticidades y economías de escala en el sector general de productores**

	Cuadrática generalizada Box-Cox	Translog-Transformada desde CGBC	Leontief Generalizada desde CGBC	Cuadrática Normalizada desde CGBC	Raíz Cuadrada Cuadrática	Elasticidad de sustitución Constante	Cobb-Douglas	Translog	Leontief Generalizada	Cuadrática Convencional
Variable	CGBC	TLCGBC	LJCGBC	QN	QRC	CES	CD	TL	LG	QC
tierra (pl)	0.00441	0.87184	0.45827	0.11482	-4.53403	0.00440	0.91462	0.69404	5.97144	1.21244
Mano de obra (L)	-0.00243	0.40732	0.56874	0.71572	4.13957	0.00244	0.29279	0.41088	-0.42561	0.57175
Fertilizantes (ca)	-0.00484	-0.00434	0.12205	0.24322	1.98265	0.00035	0.02908	0.26314	-3.67909	0.84941
Maquinaria (maq)	0.00214	0.01500	0.03623	0.04533	-0.24208	0.00019	0.02416	0.11146	0.09404	0.10346
Retornos a Escala (RTS)	-0.00072	1.28982	1.18530	1.11909	1.34612	0.00738	1.26065	1.47952	1.96078	2.73707

Fuente: encuesta cafetera CEDE (2004), cálculo autores.

**Gráfica 5. Resumen de la ET para el sector general de cafeteros mediante FEP (etsgtl)**



Fuente: cálculo autores.

En la gráfica 5, puede apreciarse el histograma con la ET agregada de cada productor y resultante de FEP (etsgtl). Observando que la mayor parte de los productores cuenta con eficiencia técnica inferior al 80%. Esto, indica ineficiencia técnica en términos generales para el sector cafetero en la zona de estudio colombiana; únicamente entre 50 y 80 productores son eficientes técnicamente.

## VI. Conclusiones e implicaciones de política

De acuerdo con el objetivo planteado finalmente se presentan las principales conclusiones y recomendaciones del caso para pequeños, medianos y grandes productores de café que se ubican en la zona cafetera más grande de Colombia; comprendida por los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda. Mediante técnicas de frontera estocástica de producción (FEP), el presente estudio determinó la función de producción cafetera, economías de escala y eficiencia técnica por tipo de productor en el eje cafetero colombiano; con información cafetera recolectada en el año 2004 por el Centro de Investigaciones Sobre el Desarrollo Económico, CEDE para 999 fincas del sector.

La metodología FEP, previamente exige una forma funcional de producción adecuada o correctamente especificada para evaluar y estimar la eficiencia técnica en una determinada actividad; en este caso, el cultivo de café. La razón, es porque el parámetro de eficiencia

( $\gamma$ ) es susceptible al tipo de función predeterminada sin justificación estadística alguna. Este mismo requerimiento de la metodología FEP, ayudó a establecer la función de producción cafetera Translog minflex Laurent para pequeños, medianos, grandes y sector general del eje cafetero colombiano.

La función Translog minflex Laurent, para cada tipo de productor y sector general, fue seleccionada entre las funciones anidadas en la Box Cox cuadrática generalizada (véase cuadro 1), Leontief minflex Laurent y cuadrática convencional. En cada una de estas funciones, el parámetro de eficiencia técnica ( $\gamma$ ) presentó variaciones representativas entre una y otra; como se observó en los cuadros 3, 5, 7 y 9 y por extensión misma la eficiencia técnica obtenida en cada función de producción estimada. Así, para pequeños, medianos y sector general de cafeteros  $\gamma$  en la función Translog minflex Laurent (FPE), resultó significativa expresando ineficiencia técnica y estocástica en la actividad agrícola; caso contrario, en grandes que son eficientes técnicamente aunque no estocásticamente.

La ineficiencia técnica indica que no están asignando y empleando de manera adecuada los principales insumos área productiva en café, mano de obra, cantidad de químicos y maquinaria requerida en la producción y que fácilmente los caficultores pueden controlar (esto conlleva a una baja productividad y competitividad del sector en los mercados internacionales y posiblemente a costos de producción altos).

Mientras la ineficiencia estocástica, señala existencia de factores externos no controlables por los pequeños y medianos cafeteros que afectan el desempeño adecuado de su producción, resaltando los factores climáticos, control de plagas en fincas vecinas, medidas institucionales por parte del gobierno, la Federación Nacional de Cafeteros en Colombia y organismos internacionales de café e incertidumbre de la producción internacional de café y volatilidad precios externos del grano.

La medida de eficiencia técnica obtenida mediante FEP, indica que el promedio de rendimiento para el sector general es de 70%, en pequeños 70%, medianos 66% y grandes del 99%. Dada la heterogeneidad en la producción de café los pequeños, medianos y sector general de caficultores presentan rendimientos crecientes a escala, mientras los grandes cafeteros exhiben rendimientos decrecientes a escala; en el eje cafetero colombiano. De acuerdo con estos resultados, el insumo más importante en el sector cafetero, unidades medianas y pequeñas es el área productiva en café, mientras para los grandes es la mano de obra empleada en el cultivo.

Los resultados obtenidos en el presente estudio de eficiencia técnica, ayudan a entender cuáles deberían ser las políticas que deben dirigirse para aumentar la productividad y competitividad en la producción de café para la región cafetera de Colombia. De esta forma, las instituciones encargadas de prestar asesoría de eficiencia técnica a los productores de café en Colombia deben fortalecerse y apoyar principalmente a los pequeños y medianos productores. Debido a que estos grupos son la mayor parte de caficultores en Colombia, es el sector más vulnerable a los cambios estructurales del mercado internacional por su ineficiencia técnica y estocástica.

Para los pequeños caficultores se requiere desincentivar la mano de obra, incentivar el uso de la tierra productiva en café, proporcionar y mejorar el acceso a las fincas marginales de Caldas, a través de una adecuada infraestructura por parte del gobierno y facilidades para adquirir o emplear maquinaria. Esta misma medida de los pequeños, para los medianos pero impulsando la mano de obra en el cultivo y en los grandes desincentivar el uso de químicos e incentivar la mano de obra.

Los resultados encontrados son importantes en términos de formulación de políticas cafeteras en Colombia. Así, si las entidades encargadas de orientarlas en el país continúan recolectando este tipo de información a nivel microeconómico, en el tiempo por unidad de producción, puede proseguirse con este tipo de estudios bajo distintas metodologías analíticas que conlleven a deducciones cuantitativas para implementar y fortalecer la política cafetera colombiana.

## VII. Referencias

1. Aigner, D. Lovell, C. and Schmidt, P. (1977), "Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Model". *Journal of Econometrics*, **6**, 21-37.
2. Arteta, Luis. (1985), *El Café en la Sociedad Colombiana*, 7ª edición, Colombia: Áncora Editores.
3. Banker R.D., Charnes A. and Cooper W.W. (1984), "Some Models for Stimating technical and scale efficiencies in Data Envelopment Analysis". *Management Science*, **30**, 1078-1092.
4. Battese, George and Broca Sumiter. (1991), "Functional Forms of Stochastic Frontier Production Functions and Models for Technical Inefficiency Effects: A Comparative Study for Wheat Farmers in Pakistan". *Journal of Productivity Analysis*, **8**, 395-414.
5. Binam, J. Silla, K. Diarra, I. and Nyambi, G. (2003), "Efficient Among Coffee Farmers in Côte d'Ivoire: Evidence From the Centre West Region". *R&D Management*, **15** (1), 66-75.
6. Cardenas, G. Vedenov, D. and Houston, J. (2005), "Analysis of Production Efficiency of Mexican Coffee-Producing Districts". *American Agricultural Economics Association*.
7. Coelli, T. and Fleming, E. (2003), "Diversification Economies and Specialisation Efficiencies in a Mixed Food and Coffee Smallholder Farming System in Papua New Guinea". *University of Queensland and University of New England, Australia*.
8. Cuellar, F.(2004), "Business and Economics"
9. Diewert, W.E. (2005), *Flexible Functional Forms, Chapter Eighth, Applied Economics*.
10. Donnell, C. and Griffiths, W. (2006), "Estimating State-Contingent Production Frontiers," *American Journal of Agricultural Economics*.
11. Duque, Hernando y Bustamante Francisco. (2002), "Determinantes de la productividad del café". Colombia: Centro Nacional De Investigación de Café, Cenicafe, 53p.
12. Edición número 18, *Ensayos sobre Economía Cafetera*, Federación Nacional de Cafeteros, Organización Internacional del Café OIC, Enero-Diciembre de 2002.
13. Edición número 20, *Ensayos sobre Economía Cafetera*, Federación Nacional de Cafeteros, Organización Internacional del Café OIC, Enero-Diciembre de 2004.
14. Farrell, M. J., (1957). "The measurement of productive efficiency". *Journal of Royal Statistical Society Series*, **120**, 253-81.
15. Garrett, Thomas. (2001) "Economies of Scale And Inefficiency In County Extension Councils: A Case For Consolidation?". *American Journal of Agricultural Economics*, **83**, 811-825.
16. Greene, William. (2000), *Econometric Analysis*, Fourth Edition, New York: Prentice Hall.
17. Gujarati, Damodar N. (2003), *Econometría Básica*. 4ª edición. México D.F. Editorial Mc Graw-Hill.



18. Joachim, B. Kalilou, S. Ibrahim, D. and Gwendoline, N. (2003) "Factors Affecting Technical Efficiency among Coffee Farmers in Côte d'Ivoire: Evidence from the Centre West Region", *African Development Review*, **15**, 1-66.
19. Just, R. and Pope, R. (2000), "The Agricultural Producer: Theory and Statistical Measurement", *Handbook of Agricultural Economics*, Bruce Gardner and Gordon C. Rausser, editors.
20. Just, Richard E. Darrell, Hueth L. and Andrew Schmitz. (2004), *The welfare economics of public policy: a practical approach to project and policy evaluation*, Cheltenham, UK, Northampton, MA: Edward Elgar.
21. Konstantinos Giannakas, Kien C. Tran and Vangelis Tzouvelekas. (2003), "On the choice of functional form in stochastic frontier modeling". *Empirical Economics*, **28**, 75-100.
22. Kumbhakar, Subal. (1993), "Short-Run Returns To Scale, Farm-Size, and Economic Efficiency". *Journal Review of Economics and Statics*, **75**, 336-341.
23. Leibovich, J. y Barón, C. (1996) "Determinantes de la productividad cafetera en finca". Santafé de Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de economía, Centro de Estudios Sobre Desarrollo Económico (CEDE).
24. Leibovich, J. Estrada, L. y Vásquez, H. (2009), "Crecimiento agrícola departamental en Colombia, 1990-2005" *RegionEs Centro de Estudios Regionales Cafeteros y Empresariales (CRECE)*, **5**, 5-44.
25. Lohr, L. and Park, T. (2006), "Technical Efficiency of U.S. Organic Farmers: The Complementary Roles of Soil Management Techniques and Farm Experience", *Agricultural and Resource Economics Review*, **35**, 327-338.
26. Lozano, A. (2007), "Relaciones de tamaño, producción y trabajo en las fincas cafeteras colombianas". *Ensayos sobre Economía Cafetera*, Federación Nacional de Cafeteros, **23**, 85-106.
27. Mendieta, Juan Carlos y Perdomo, Jorge Andrés (2008), *Fundamentos de economía del transporte: teoría, metodología y análisis de política*, primera edición, Bogotá-Colombia, ediciones Uniandes.
28. Meesen, W. and Van den Broeck, J. (1977), "Efficiency Estimation from Cobb Douglas Production Functions with Composed Error". *International Economics Review*, **18**, 435-444.
29. Morales, C., P. (2005), "Estimación de la eficiencia técnica y ambiental a través de la frontera de producción estocástica: el caso de los productores de arroz en Colombia". Centro de Estudios sobre el Desarrollo Económico, CEDE, Universidad de los Andes, p 75.
30. Mosheim, R. (2002), "Organizational Type and Efficiency in the Costa Rican Coffee Processing Sector". *Journal of Comparative Economics*, **30**, 296-316.
31. Nicholson, Walter. (2002), *Microeconomic Theory*, Eighth Edition, USA: South-Western Thomson Learning.
32. Ornelas Fermin, Shumway Richard and Ozuna Teofilo. (1994), "Using Quadratic Box-Cox for Flexible Functional Form Selection and Unconditional Variance Computation". *Empirical Economics*, **19**, 639-645.

33. Perdomo, J. (2006), “Estimación de Funciones de Producción y Eficiencia Técnica en el Eje Cafetero Colombiano: Una Aplicación con Fronteras Estocásticas Vs DEA”. Universidad de los Andes, Facultad de Economía.
34. Perdomo, J. Hueth, D. y Mendieta, J. (2007), “Factores que afectan la eficiencia técnica en el sector cafetero de colombiano: una aplicación con análisis envolvente de datos”. Ensayos sobre Economía Cafetera, Federación Nacional de Cafeteros, **22**, 121-140.
35. Perdomo, J. y Mendieta, J. (2007), “Factores que afectan la eficiencia técnica y asignativa en el sector cafetero de colombiano: una aplicación con análisis envolvente de datos”. Revista Desarrollo y Sociedad, Centro de Estudios Sobre Desarrollo Económico (Facultad de Economía de la Universidad de los Andes, Colombia), **60**, 1-45.
36. Pindyck Robert-Rubinfeld Daniel (2001). Microeconomía. 5ª edición. Prentice Hall.
37. Pizano, Diego. (2001), *El Café en la Encrucijada Evolución y Perspectivas*, Primera Edición, Bogotá D.C.- Colombia: Alfaomega.
38. Ramírez Luis, Silva Gabriel, Valenzuela Luis, Villegas Álvaro y Villegas Luis. (2002), *El Café, Capital Social Estratégico*, Informe final Comisión de Ajuste de la Institucionalidad Cafetera, Bogotá D.C.- Colombia.
39. Reinhard, S. Lovell, K. and Thijssen G. (1999). “Econometric estimation of Technical and environmental efficiency: an application to Dutch Dairy Farms”, *American Journal in agriculture*, **81**, 44-60.
40. *Revista de la Contraloría General de la República*, Economía Colombiana, Noviembre-Diciembre de 1986.
41. Rhodes, E. (1978), “Data envelopment analysis and related approaches for measuring the efficiency of decision-making unit with application to program follow through U.S. education”. *Carnegie-Mellon University School of Urban and Public Affairs*, Pittsburgh, Ph. D. Thesis.
42. Rios, A. and Shively, G. (2005), “Farm size and nonparametric efficiency measurements for coffee farms in Vietnam”. *American Agricultural Economics Association*.
43. Saravia, S. (2007) “ A stochastic frontier model of the Nicaraguan coffee sector: analyzing efficiency and performance under changing political environments, II International Symposium on Economic Theory, Policy and application (Athens, Greece), Working Paper.
44. Thanda, Kyi. and Matthias, von Oppen. (1999) “Stochastic frontier production function and technical efficiency estimation: A case study on irrigated rice in Myanmar”, *Deutscher Tropentag*.
45. Townsend, R.F. Kirsten, J. and Vink, N. (1998), “Farm Size, Productivity and Returns to Scale in Agriculture Revisited: A Case Study of Wine Producers in South Africa”, *Agricultural Economics*, **19**, 175-180.
46. Wan, G. and Cheng E. (2001), “Effects of Land Fragmentation and Returns to Scale in the Chinese Farming Sector”, *Applied Economics*, **33**, 183-194.
47. Wollni, M. (2007), “Productive and efficiency of specialty and conventional coffee farmers in Costa Rica: accounting for the use of different technologies and self- selection”, Department of Applied Economics and Management, Cornell University, Working Paper.

48. Zambrano R. (1991), “La productividad y la competitividad del café colombiano”, Ensayos sobre economía cafetera 4 (6): 41-46, Federación Nacional de cafeteros.

