

UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA



TRABAJO DE DIPLOMA

**PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA
TÉCNICA EN LA TRANSPORTACIÓN DE CAÑA EN LAS UBPC
CAÑERAS DE LA PROVINCIA VILLA CLARA**

AUTORES: Ana Iris Romeu Yanes

Yoandy Rodríguez Treto

TUTORA: MSc. Grisel Y. Barrios Castillo

SANTA CLARA

JULIO 2008

*“Los peligros; no se han de ver cuando se les tiene encima, sino cuando se les pueda evitar.
Quien quiera ir delante tendrá que ver más lejos”*

José Martí

A nuestros padres

A mis padres, por soportarme y brindarme tanto apoyo

A mi tía, por ser mi segunda mamá

A mis hermanos, por su constante preocupación

A Dennis por ser tan paciente y ayudarme tanto

A mis amigos de la cuadra y de la Universidad por estar ahí para mí

A mi familia en general, que siempre pude y puedo contar con ellos

Ana Iris

A mis padres por su comprensión y amor incondicional

A mis hermanos por su afecto y su apoyo

A mis abuelos por su ternura y sus enseñanzas

A mis amigos de la universidad por su aprecio y su ayuda en todo momento

A los locos del barrio por su amistad, su confianza y por los buenos ratos

A mi cuñada por su entendimiento y respeto

Yoandy

A nuestra tutora que tanto nos ayudó en la elaboración de esta investigación

A todos que de una manera u otra colaboraron para que esta investigación resultara.

Ana iris y Yoandy

RESUMEN

El sector agroindustrial azucarero tiene un peso importante en el desarrollo económico del país. El mismo se ha visto afectado enormemente desde principios de la década del noventa. La pérdida de un mercado preferencial, el aumento del precio de los insumos, entre otros factores propiciaron el inicio de un proceso de reestructuración en el sector a partir del año 2002. Con la reorganización de la industria azucarera varias UBPC cañeras quedaron ubicadas en áreas muy alejadas de los centrales a los cuales se vinculan, por lo que el tiro de la caña encarece el ciclo productivo de las unidades productoras de esta materia prima. Esta investigación precisamente se centra en la evaluación de la eficiencia técnica en el proceso de transportación o tiro de la caña para lo cual se diseña y aplica un procedimiento sustentado en el Análisis Envolvente de Datos (AED), que contribuye a enriquecer los mecanismos de análisis técnico-económicos y conocer las fases del proceso productivo que requieren de mejoras para lograr la eficiencia en su integralidad en el sistema agroindustrial azucarero. Se realiza además un análisis comparativo de la eficiencia técnica en los procesos de producción y la transportación de la caña, identificándose las entidades con mejor desempeño.

SUMMARY

The sugar cane industry and plantations have an important role in the economic development of the country; this agricultural and industrial area has been greatly damaged since the beginning of 1990. Loss of proper market, increase of prices and other problems made possible the beginning of an organizing process of this agricultural and industrial area since the year 2002. As a result of the reorganization of the sugar industry several sugar cane plantations (UBPC) were located very far from sugar industries what makes more expensive the transport process of raw material.

This research is dealing with the evaluation of technical efficiency of sugar cane transport, in relation to this a procedure based on a Data Envelopment Analysis (DEA) is designed and put into practice; this procedure contributes to enhance technical – economic analysis and to know the stages of the productive process that needs to be improved to obtain integral efficiency of sugar cane plantations and sugar industry as a system.

Besides a comparative analysis of technical efficiency of the production process and sugar cane transport is made and the industries and plantations with better results are duly identified.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL.....	4
1.1 La eficiencia técnica. Definiciones conceptuales.....	4
1.1.1 <i>Eficiencia técnica vs. eficiencia económica</i>	6
1.2 Los métodos de medición de la eficiencia técnica.....	9
1.2.1 <i>Análisis Envolvente de Datos</i>	11
1.3 Importancia de la medición de la eficiencia técnica en la actividad de transporte.....	14
1.4 Aplicación de métodos fronteras para estimar eficiencia técnica en la actividad de transportación.....	16
CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN EL PROCESO DE TRANSPORTACIÓN DE CAÑA.....	20
2.1 Características generales del proceso de transportación de la caña y la medición de su eficiencia técnica.....	20
2.2 Diseño del procedimiento para la evaluación de la eficiencia en el proceso de transportación de la caña.....	23
2.2.1 <i>Delimitación del conjunto de productores y verificación del principio de homogeneidad</i>	24
2.2.2 <i>Clasificación de las variables</i>	24
2.2.3 <i>Elección de variables relevantes</i>	27
2.2.4 <i>Selección del modelo básico AED</i>	31
2.2.5 <i>Análisis de los datos</i>	33
2.2.6 <i>Estimación de los IET</i>	33
2.2.7 <i>Análisis de los resultados</i>	35
CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN LAS UBPC CAÑERAS DE LA PROVINCIA VILLA CLARA.....	38
3.1 Delimitación y verificación del principio de homogeneidad del conjunto de productores.....	38
3.2 Clasificación de las variables.....	40
3.3 Elección de variables relevantes.....	41
3.4 Selección del modelo básico AED.....	44
3.5 Análisis de los datos.....	45
3.6 Estimación de los IET.....	46
3.7 Análisis de los resultados.....	46
3.8 Análisis comparativo de la eficiencia técnica entre los procesos de producción y transportación de la caña.....	50
CONCLUSIONES.....	53
RECOMENDACIONES.....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	55

INTRODUCCIÓN

Por muchos años la industria azucarera cubana mantuvo un liderazgo indiscutible dentro del desarrollo de la economía nacional. En la segunda mitad de la década de los ochenta, el sistema productivo cañero mostró sus primeros síntomas de deterioro, esto motivado fundamentalmente porque los mecanismos establecidos no incidían en el aumento y calidad de los procesos productivos de dicho sector. El proceso de agudización en esta agroindustria ocurre con la crisis económica desatada en el país a causa del derrumbe de la URSS, en los años noventa.

Actualmente continúan las situaciones adversas, que entre otras, podemos citar: la pérdida de un mercado preferencial, el incremento del posicionamiento de los productos edulcorantes en el mercado mundial, la elevación significativa de los precios de los insumos necesarios para garantizar la industria azucarera, así como el recrudecimiento del bloqueo impuesto por EE.UU. por casi medio siglo de existencia.

El país ante estas difíciles condiciones tiene una única vía para acelerar, dinamizar y diversificar la eficiencia productiva del sector a partir de un proceso de redimensionamiento del sistema productivo cañero azucarero, que necesariamente deberá ir perfeccionándose.

La eficiencia de la zafra azucarera depende del adecuado funcionamiento de los procesos de cultivo-corte-alza-tiro y molida, es decir el azúcar se produce en el campo y la calidad se garantiza si el proceso de llevarla hasta el central se realiza eficientemente. Por lo que ser eficiente en todas y cada una de estas actividades es vital para el resultado final que se desea.

En la actualidad se cuenta con mecanismos para medir la eficiencia de estos procesos, pero ellos no son capaces de proporcionar medidas que faciliten un proceso efectivo de mejora continua. Por esta razón es necesario buscar nuevos instrumentos analíticos capaces de contribuir a solucionar los problemas que persisten en cuanto a la utilización de los recursos disponibles.

En correspondencia con lo anterior se desarrolla este trabajo investigativo que se plantea el siguiente **problema científico**:

¿Cómo contribuir mediante el diseño y aplicación de un procedimiento, con el empleo del método Análisis Envolvente de Datos, a la evaluación de la eficiencia técnica en la transportación de caña¹ en las UBPC cañeras de la provincia Villa Clara?

Por lo que se propone el siguiente **objetivo general**:

Evaluar la eficiencia técnica en el proceso de transportación de caña en las UBPC cañeras de la provincia Villa Clara, mediante el diseño y aplicación de un procedimiento basado en el método Análisis Envolvente de Datos².

Como **objetivos específicos** se definieron los siguientes:

1. Valorar críticamente los fundamentos teórico-metodológicos referidos a la eficiencia técnica y los instrumentos para su medición.
2. Diseñar un procedimiento para evaluar la eficiencia técnica en la actividad de transportación de la caña en las UBPC cañeras.
3. Aplicar el procedimiento propuesto en las Unidades Básicas de producción Cooperativa cañeras de la provincia Villa Clara.

La **hipótesis** de esta investigación está referida a que “si se diseña y aplica un procedimiento basado en el Análisis Envolvente de Datos, entonces se dispondrá de información para la evaluación de la eficiencia técnica en el proceso de transportación de caña en las UBPC cañeras de la provincia Villa Clara”.

Esta investigación se estructuró en tres capítulos. En el primer capítulo se aborda la teoría referente a la eficiencia técnica como dimensión básica de la eficiencia económica o productiva, así como los instrumentos desarrollados para su medición.

En el segundo capítulo se propone un procedimiento para la evaluación de la eficiencia técnica en la actividad de transportación de la caña, analizándose

¹ Se usará indistintamente *transportación* o *tiro* de caña

² AED por sus siglas en español.

previamente la importancia de esta actividad en el proceso productivo de las UBPC cañeras y los mecanismos existentes para su evaluación.

En el tercer capítulo se valida mediante un caso de estudio el procedimiento propuesto, resumiéndose los resultados fundamentales

En este proceso de investigación se utilizaron diferentes técnicas, procedimientos y herramientas entre las que se destaca la programación lineal, el método de expertos y el software *Frontier Analyst*. Entre los métodos teóricos se usaron el análisis y la síntesis y la inducción y deducción. Además se empleará como método empírico el Análisis Envolvente de Datos.

Para la realización de esta investigación se consultó una amplia bibliografía entre la que destaca la tesis presentada en opción al grado científico de Doctora en Ciencias Económicas titulada: *Procedimiento para la evaluación de la eficiencia técnica en las Unidades Básicas de Producción Cooperativa cañeras de la provincia de Villa Clara* de la MSc. Grisel Y. Barrios y el trabajo de diploma de Yaroslav Ruiz Aguado (2007) titulado: *Medición de la eficiencia de las Unidades de Producción Cooperativas de la provincia de Villa Clara: el Análisis Envolvente de Datos*.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL

La eficiencia es un término que ha sido utilizado en el ámbito económico desde antes del mundo romano y puede remontarse incluso hasta la Grecia clásica, donde se utiliza por primera vez el término “economía” (oikonomia) para referirse a la administración eficiente de la hacienda o casa familiar. Como presenta diversas acepciones en el presente capítulo se resumen las principales de ellas recogidas en la literatura económica, particularizando en la definición primaria: la eficiencia técnica. En un segundo momento se describen los principales métodos para medir la eficiencia técnica en unidades productoras de bienes y/o de servicios. Finalmente se hace una referencia a la aplicación de los métodos frontera aplicados específicamente en el proceso de transportación de productos agrícolas.

1.1 La eficiencia técnica. Definiciones conceptuales

En la literatura económica el término eficiencia es ampliamente utilizado y no siempre de forma correcta, por lo que se le ha dado diversas interpretaciones. Puesto que este concepto es central en esta investigación conviene precisar su significado.

Como plantea Pascual (2000) uno de los conceptos más difundidos se debe a Pareto. Para este autor una asignación de recursos A es preferida a otra B si y sólo si con la segunda al menos algún individuo mejora y nadie empeora, es decir, un óptimo paretiano es una asignación de recursos que no puede modificarse para mejorar la situación de alguien sin empeorar la de otro/s.

El óptimo paretiano subyace en el concepto definido por Debreu (1951), el cual propuso la construcción de un índice de eficiencia técnica, al que llamó “coeficiente de utilización de los recursos”, el que definía como la unidad menos la máxima reducción equiproporcional en todos los insumos para un nivel dado de producción. También ofrece ya una definición de medida de eficiencia basándose en un ratio de distancias. Dicho ratio cuantificaría la proporción en que la situación obtenida en una economía se aleja de la óptima, considerando como tal aquella en la que fuera imposible aumentar la satisfacción de algún individuo sin, al menos, disminuir la de otro. Este modo de concebir la cuantificación de la eficiencia, si bien no dependía de las unidades de medida, presentaba la dificultad de necesitar de la existencia de un

sistema intrínseco de precios que homogeneizara las magnitudes de bienes comparadas en el proceso de cálculo del parámetro de eficiencia mediante el cómputo del ratio de distancias.

Sin embargo Koopmans (1951) fue más genérico al demarcar un principio de eficiencia más amplio. Partiendo de la consideración de un marco de posibilidades técnicas muy similar al modelo Input-output de Leontief³, define a un punto eficiente como aquella combinación de producto neto que, siendo factible, posee la propiedad de que cualquier incremento en una de sus coordenadas puede ser logrado sólo a costa de disminuir al menos una de las restantes. No obstante Koopmans no hace ninguna referencia al modo de medir esa eficiencia, tan solo menciona su propia concepción de la misma.

En 1957, Farrell, de quien Koopmans (1951) y Debreu (1951) pueden ser considerados como sus antecesores y cuya trascendencia queda patente por el hecho de que estudios sobre medición de eficiencia posteriores al suyo han tomado como base su formulación teórica (Mancebo (1996) y Salinas (1995)), llegó a la conclusión de que debía dividirse el concepto de eficiencia en dos componentes: técnica y asignativa.

Para este autor la eficiencia técnica consiste en alcanzar la máxima producción posible a partir de unos insumos dados y la eficiencia asignativa es elegir, entre las combinaciones de insumos y productos técnicamente eficientes, aquellas que, considerando los precios de los insumos, resulten más baratas.

Para Lindbeck (1971), Varian (1994), Álvarez (2001) la eficiencia técnica surge de la interpretación de la función de producción como el conjunto de los puntos frontera del conjunto de producción, quedando particionado así el espacio de asignaciones en eficientes; las ubicadas justo sobre la función de producción; las ineficientes; las situadas debajo de la misma; y las imposibles, las localizadas más allá. En este sentido, se trata de un concepto puramente técnico puesto que contempla

³ Economista estadounidense, de origen ruso. Desarrolló el modelo input-output, el cual representa una aproximación empírica de las interrelaciones existentes entre los distintos sectores en que puede dividirse una economía nacional. Supuso la introducción del álgebra matricial al tratamiento de los problemas del equilibrio general, desarrollando un modelo estático muy operativo para estimar los niveles productivos sectoriales y las relaciones intersectoriales.

únicamente la relación entre las cantidades de insumos y productos y no sus valores. Éste es un elemento que la diferencia de la eficiencia asignativa o precio, la cual supone lograr el costo mínimo de producción de una cantidad determinada de producción al cambiar las relaciones proporcionales de los insumos utilizados en función de sus precios y productividades marginales. Por tanto asume la definición dada por Farrell (1957).

Por lo tanto, la eficiencia técnica se refiere a la habilidad de obtener el máximo producto posible dados una canasta de factores de producción y un nivel de tecnología determinados. Específicamente, un productor utiliza las mejores prácticas posibles que le significarán el máximo nivel de producción alcanzable, que es superior que el de un productor que no hace lo mismo, dado un conjunto de factores de producción y tecnología relativamente homogéneos. En otros términos, la eficiencia técnica alude a la habilidad de producir en la frontera de posibilidades de producción.

1.1.1 Eficiencia técnica vs. eficiencia económica

Como se explicó en el epígrafe anterior Farrell delimitó dos conceptos de eficiencia: eficiencia técnica y eficiencia precio o asignativa. En función de la primera supuso una empresa que empleara dos factores para generar un producto bajo rendimientos constantes a escala y además presupone que la tecnología se representa por una isocuanta unitaria, la cual representa combinaciones de insumos que permiten obtener una unidad de producto.

En la figura 1.1 se representa gráficamente la teoría desarrollada por este autor que constituye el fundamento teórico de los métodos más avanzados, empleados en la actualidad para medir la eficiencia productiva.

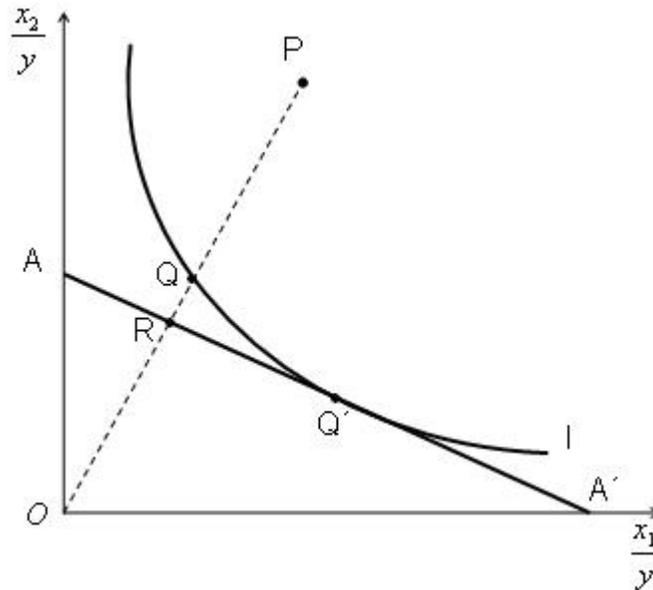


Figura 1.1: Medidas de eficiencia de Farrell
Fuente: Elaborado a partir de Farrell (1957)

La empresa Q combina los insumos en la misma proporción que la empresa P, aunque obtiene OP/OQ veces más producto que P para cada combinación de insumos, por lo que el ratio OQ/OP puede considerarse como una medida de eficiencia técnica de P. Solo aquellas empresas en la isocuenta, esto es, las que operan sobre la función de producción, son eficientes desde el punto de vista técnico.

Sin embargo, dados unos precios de los factores, solo existe una combinación de insumos que minimiza el costo de una producción determinada. Si los precios de los factores definen isocostos con pendiente de AA', solamente las empresas situadas en el punto Q' serán eficientes desde ambos puntos de vista: el técnico y el asignativo.

Finalmente, Farrell definió la eficiencia económica o global como el tipo de eficiencia que presentaría una asignación en caso de ser eficiente desde el punto de vista técnico y asignativo, estableciendo que sería igual al producto de ambas medidas de eficiencia:

$$\frac{OQ}{OP} \cdot \frac{OR}{OQ} = \frac{OR}{OP}$$

Por tanto, para Farrell la empresa presenta eficiencia productiva si opera con eficiencia técnica a la vez que con eficiencia precio o asignativa.

Este concepto está implícito en la mayoría de las definiciones de eficiencia productiva y se corresponde con las de Cohen y Franco (1983), Stoner (1997), Lockheed y Hanushek (1994), Muñiz (2001), Mokate (2001), García (2002), Codina (2007), García y Coll (2003) y Hernández y Granadillo (2003). Sin embargo otros como Vergés (2004) denominan eficiencia de gestión a la combinación de la eficiencia técnica y asignativa.

El desarrollo de los fundamentos teóricos vinculados a la eficiencia ha conllevado a ampliar las dimensiones de este concepto. Para Forsund y Hjalmanson (1974), Forsund et al. (1980), Coelli et al. (1998), Webster et al. (1998), Álvarez (2001), García y Aguilar (2003), entre otros, afirman que la eficiencia productiva o económica está relacionada con la elección de la producción que permita maximizar el beneficio⁴, con la combinación de factores que facilite minimizar el costo total de dicha producción y con la producción máxima posible a obtener a partir del empleo mínimo de esos factores. Estos autores añaden la eficiencia de escala como elemento determinante de la eficiencia productiva, incorporando la posibilidad de que, como consecuencia de un aumento de los insumos en una determinada proporción, se produzcan aumentos más que proporcionales de la producción, lo que asegura una reducción de los costos medios y marginales tendente a producir en una escala óptima de tamaño.

Varios autores como Casas (1987), García (2003), García y Coll (2003), Hernández y Granadillo (2003) utilizan indistintamente el término de eficiencia económica cuando se refieren a la eficiencia productiva y todos coinciden en que en el concepto de eficiencia productiva o económica subyace la noción de eficiencia técnica.

Coincidiendo con algunos autores mencionados y a criterio propio una organización presenta eficiencia económica o productiva cuando alcanza la máxima producción posible con los recursos de que dispone, o utiliza la mínima cantidad de insumos para alcanzar determinada producción y logra utilizar esos recursos al menor costo

⁴ Esto es, cuando el ingreso marginal es igual al costo marginal.

total posible que le permita la tecnología existente. De ahí que el concepto de eficiencia técnica esté englobado en el de eficiencia productiva o económica.

1.2 Los métodos de medición de la eficiencia técnica

Los antecedentes a los métodos más avanzados para medir eficiencia técnica se centran en la productividad parcial y productividad total de los factores (PTF). El análisis de la productividad parcial de los factores se corresponde con la relación de un producto con el factor productivo, que se encuentre entre los relevantes, que ayude a su obtención.

El análisis de productividad total de los factores supone el establecimiento de diversas ponderaciones sobre los diferentes insumos y productos. Las limitaciones de estas formas de medir eficiencia técnica crearon la necesidad de buscar otros instrumentos analíticos. En la actualidad los nuevos métodos se basan en la estimación de fronteras de producción.

Los estudios sobre fronteras de producción tecnológicas se pueden clasificar de acuerdo con la manera en que se especifica y estima la frontera. Se pueden clasificar de la siguiente forma:

Determinista: Las fronteras deterministas atribuyen toda la aleatoriedad al término de ineficiencia técnica, motivo por el cual ignoran la naturaleza estocástica de la producción, así como la posible existencia de perturbaciones de tipo exógeno. Así pues, una función de producción frontera determinista puede expresarse como:

$$Y = f(x) - u$$

Donde $f(x)$ es la tecnología asociada a la función de producción y u el término aleatorio que mide el grado de ineficiencia de una empresa en el uso de los factores a través de la distancia que la separa de la frontera de producción eficiente.

Estocástico: las fronteras estocásticas se caracterizan por la naturaleza estocástica de la producción, en cuyo caso esta se especifica de la siguiente manera:

$$Y = f(x) + \varepsilon, \quad \varepsilon = v - u$$

Donde v representa la perturbación aleatoria, que se supone idéntica e independientemente distribuida con media 0. El término de error u recoge la ineficiencia técnica, medida como la distancia de cada empresa respecto de la frontera estocástica eficiente y se supone que es no negativo y se distribuye independientemente de v siguiendo una distribución de una cola.

A su vez, cualesquiera de estas fronteras se pueden estimar de dos formas:

Paramétrica: En este enfoque, se pueden realizar las estimaciones mediante programación matemática o técnicas econométricas basadas en dos métodos: mínimos cuadrados ordinarios corregidos y máxima verosimilitud.

No paramétrica: En la literatura de eficiencia se recogen dos métodos no paramétricos: el Análisis Envolvente de Datos (AED) y el Free Disposal Hull (FDH)⁵.

Las diferencias entre el AED y el FDH radica en los supuestos que establecen para la construcción de la tecnología productiva de referencia. El FDH no incluye en el conjunto de posibilidades de producción las relaciones productivas que sea resultado de la combinación convexa de observaciones que se consideren eficientes.

El FDH presenta como ventaja fundamental que el marco de comparación está formado por unidades productivas reales y no virtuales, con lo que siempre es posible señalarle a cada unidad ineficiente otra que está operando en la práctica en mejores condiciones que ella. De esta forma, el análisis comparativo adquiere mayor credibilidad.

Sin embargo, como el FDH contempla los supuestos más débiles en los que se basa la construcción de la frontera, de modo que las unidades consideradas ineficientes con este método lo serán también con el AED, a menudo se considera el FDH un caso especial de AED.

En esta investigación se empleará como herramienta de análisis fundamental en la que se sustenta el procedimiento que se propone, el Análisis Envolvente de Datos

⁵ No se encontró en la literatura consultada la traducción del nombre de este método al idioma español.

(AED), de ahí se profundice en algunas cuestiones fundamentales relacionadas con el mismo.

1.2.1 Análisis Envolvente de Datos

La medición de la eficiencia de una unidad productiva mediante el método AED implica el cumplimiento de dos etapas básicas:

1. La delimitación del conjunto de posibilidades de producción a partir de los datos observables y supuestos tecnológicos formulados.
2. La estimación de la medida de eficiencia relativa que proporcione la máxima expansión factible de la producción o la máxima contracción de los factores de la unidad dentro del conjunto de posibilidades de producción.

Para desarrollar la primera etapa es necesario establecer ciertos supuestos adicionales acerca de las propiedades teóricas que satisfacen la tecnología, teniendo en cuenta que algunos procesos productivos no son observados en la realidad.

Los supuestos más comunes son los siguientes: libre disponibilidad de productos y factores⁶, tecnología con rendimientos constantes o variables de escala y convexidad del conjunto de combinaciones productos/recursos.

En la segunda etapa se concreta el tipo de índice cuyo valor se desea estimar y se construye un programa matemático capaz de calcular el índice definido

El Análisis Envolvente de Datos (AED) usa algoritmos de programación lineal, obteniendo resultados equivalentes trata un enfoque de tipo no paramétrico cuya principal ventaja radica en su flexibilidad, al adaptarse a modelos con más de un producto y diversas tipologías de rendimientos de escala. Sin embargo, no considera los errores de medida en la obtención de los datos y no permite realizar contrastes de hipótesis acerca de la estructura de la producción y de la propia eficiencia técnica.

El primer modelo de programación lineal fue propuesto por Charnes et al. (1978), donde se asume que la tecnología de producción presenta rendimientos constantes a

⁶ Esto significa que una unidad productiva es capaz de producir la misma cantidad de producto que otras unidades utilizando una cantidad mayor de al menos un recurso o que es posible producir una cantidad menor de cualquier producto empleando la misma cantidad de factores que otras unidades.

escala (RCE) y estaba orientada hacia la minimización del uso de los recursos productivos. El desarrollo de la teoría de emplear técnicas de programación matemática para estimar índices de eficiencia técnica permitió en años posteriores plantear el primer modelo plenamente operativo, que se formuló de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \min \quad & z_0 = \theta \\ \text{s.a} \quad & \\ & \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - y_{r0} \geq 0 \quad r = 1, \dots, s \\ & \theta x_{i0} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \geq 0 \quad i = 1, \dots, m \\ & \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n \\ & \theta \text{ no restringida} \end{aligned}$$

Donde:

θ - es la puntuación de eficiencia técnica de la unidad evaluada

y_{r0} - cantidad de producto r producido por la unidad evaluada

x_{i0} - cantidad de insumo i consumido en la unidad evaluada

y_{rj} - cantidad de producto r producido por la j-ésima unidad

x_{ij} - cantidad de insumo i consumido en la j-ésima unidad

λ_j - representa el peso o intensidad de la unidad j

z_0 -valor de la función objetivo

A θ se le conoce como índice de eficiencia técnica global (ETG) y es un escalar que representa el porcentaje de reducción radial del consumo de insumos posible, sin alterar el nivel del producto. Esto significa que $\theta \leq 1$. En caso de que tome valor 1, eso indica que la unidad evaluada está sobre la frontera y por tanto es eficiente. Si es menor que 1 la unidad productiva presenta ineficiencia técnica. El programa lineal debe resolverse n veces, una para cada empresa en la muestra, obteniendo un valor de θ para cada una.

El supuesto de que exista rendimientos constantes a escala no siempre se cumple, es decir, que puede ocurrir que algunas empresas no estén operando a una escala

óptima por la existencia de competencia imperfecta, restricciones financieras, normativas, etc. Para solucionarlo, *Banker, Charnes y Cooper (1984)* plantearon un modelo que tuviera en cuenta los rendimientos a escala variables (RVE), y poder así calcular la eficiencia técnica "pura" (ETP) separándola de los efectos de escala derivados de utilizar RCE. La propuestas de estos autores , conocida como modelo BCC se formula de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \min z_0 &= \theta \\ \text{s.a} \\ \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ &= y_{r0} & r = 1, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- &= \theta x_{i0} & i = 1, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\ \lambda_j &\geq 0 & j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

Este enfoque es más abarcador por lo que se cumple que $ETP \geq ETG$. El cociente entre la eficiencia técnica global y la eficiencia técnica pura es la *eficiencia de escala (EE)*: $EE = \frac{ETG}{ETP}$.

Para conocer si la EE es debida a rendimientos crecientes o decrecientes habrá que calcular el modelo AED imponiendo la restricción de rendimientos a escala no crecientes, la cual se expresa como sigue:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \leq 1$$

De esta forma si el θ calculado es igual o distinto al obtenido en el RVE la empresa o unidad de decisión estará operando bajo rendimientos decrecientes o crecientes a escala, respectivamente.

1.3 Importancia de la medición de la eficiencia técnica en la actividad de transporte

La necesidad de la medición de la eficiencia técnica obedece a que es la manera objetiva de evaluar el desempeño en cuanto a la utilización de los recursos de una de las actividades claves del ciclo productivo de cualquier organización: la transportación.

El transporte es una actividad muy útil en dos aspectos: utilidad de lugar y utilidad de tiempo. Estos términos económicos significan tener el producto en el lugar y el momento en que se necesita. Uno de los criterios para clasificar los sistemas de transporte es a partir de sus características generales, donde los tipos de transporte pueden ser definidos de acuerdo a:

- Los modos de transporte
- Las propiedades de los medios de transporte
- Otros parámetros (zona geográfica, clase de servicio y régimen de carga)

Los modos de transporte constituyen las formas en que se realiza la transportación. Los medios de transporte o también llamados activos fijos tangibles del transporte son los elementos fundamentales del sistema y pueden ser: ferroviario, automotor, marítimo, aéreo, fluvial y por tubería. Cada uno de ellos presenta ventajas y desventajas, las cuales pueden ser conjugadas para poder lograr un eficiente proceso de transportación.

Los medios de transporte pueden ser clasificados como: transporte propio, transporte contratado y transporte mixto. El transporte propio se caracteriza por ser una actividad complementaria a la actividad principal de la empresa, por lo que sus objetivos están enmarcados a satisfacer las necesidades de transportación propia. Entre las ventajas de este tipo de transporte, para las actividades de aprovisionamiento y distribución, se destacan: la reducción de las manipulaciones, una mayor productividad del trabajo en la operación de descarga del vehículo, la disminución del número de vehículos llegados al almacén y una mejor disponibilidad

y maniobrabilidad en los muelles y zonas de carga y descarga. Siendo sus características más significativas las siguientes:

1. La poca flexibilidad del parque
2. La posibilidad de controlar directamente la actividad
3. Una elevada inversión en vehículos e instalaciones
4. Altos costos fijos
5. Bajos rendimientos económicos
6. El sistema de gestión es complejo (ya que vincula vehículos y personas)

El transporte contratado se caracteriza por satisfacer necesidades de un cliente, es decir, por prestar un servicio de transportación ajeno a la organización poseedora del objeto a transportar. Las formas de contratación más frecuentes son:

1. El contrato exclusivo (Transporta mercancías de una sola empresa y por lo general el vehículo es propiedad individual del conductor), que tiene como características:
 - El menor control de la calidad
 - El ahorro por no invertir en medios de transporte
 - Los costos variables tienen valores medios
 - La necesidad de un sistema de gestión de la contratación
2. El contrato con agencias (son organizaciones con medios de transporte propios o no, que centran su actividad económica en el transporte regular de mercancías por cuenta ajena en régimen de carga completa o fraccionada), cuyas características son:
 - La posibilidad de controlar con mayor eficiencia la actividad
 - Los costos variables son bajos
 - Una mayor flexibilidad en el servicio que el anterior

Dada la gran importancia que tiene el desempeño económico de las empresas la adopción del servicio de transportación con medios propios o mediante la contratación, en los marcos de la gestión logística, estos aspectos se convierten en dos opciones estratégicas para las organizaciones.

Derivado de lo anterior es que surge un nuevo tipo de propiedad sobre los medios de transporte, el llamado transporte mixto. Este constituye una combinación del transporte propio y el contratado ya que se toman las principales características y ventajas de cada uno de ellos, destacándose las siguientes: una menor inversión en medios de transporte e instalaciones, un adecuado control directo, una equilibrada relación entre los costos fijos y variables.

Los elementos claves a tener en cuenta en el subsistema de transporte son: el establecimiento de la cantidad de medios de transporte, su tipo, el número de viajes y las rutas a seguir, capacidad de transportación, número de kilómetros útiles, litros de combustibles consumido, costos de explotación del transporte y balance de transporte, entre otros.

Teniendo en cuenta los elementos anteriores, un elemento de gran peso contribuir al logro de un proceso productivo eficiente es desarrollando un proceso de transportación donde se logre transportar la máxima cantidad de producto con los recursos que se dispone, o utilizar la mínima cantidad de recursos para cumplir determinados planes de transportación, utilizando los mismos al menor costo posible que permita la tecnología disponible y aprovechando al máximo la capacidad de los medios de transporte.

1.4 Aplicación de métodos fronteras para estimar eficiencia técnica en la actividad de transportación

En Cuba son escasos los trabajos relacionados con la medición de eficiencia técnica, a partir de la estimación de fronteras de producción. La experiencia internacional en cuanto a la aplicación del AED es amplia y variada. Los análisis empíricos han tenido como escenario de investigación tanto empresas productoras de bienes como de servicios. La primera aplicación del AED fue en el sector educacional y se debe a Rhodes (1978), el cual evaluó la eficiencia del programa de educación *Follow-*

Through de las escuelas públicas de los Estados Unidos. Otros estudios empíricos que se destacan en este campo son los desarrollados por Bessent (1982), Thanassoulis (1994), Goldstein (1996), Cooper (1997), Mancebón (1998), Barrow (1991), Silva-Portela (2001), Fuentes (2002), Muñiz (2002), entre otros. La medición de la eficiencia en los servicios hospitalarios también ha sido objeto de estudio en diversas investigaciones. La estimación de la eficiencia hospitalaria mediante métodos frontera es tratada por Grosskopf y Valdmanis (1987), Burgess y Wilson (1993), Ozkan y Luke (1993), Zuckerman et al. (1994), Magnusesen (1996), entre otros.

También existen aplicaciones en el sector agropecuario, algunas de ellas han estado dirigidas a determinar la eficiencia de las explotaciones lecheras, destacándose los trabajos de González et al. (1996) Ferrier y Porter (1991), Jarofullah y Whiteman (1999), Sing et al. (2000), Satbir et al. (2000), Arzubi y Berbel (2001) y Pardo et al. (2001). El análisis temporal es también empleado por Damas y Romero (1997) en el estudio de la eficiencia de las cooperativas almazareras de Jaén, mientras que Vidal et al. (2000), Segura y Vidal (2001) y Reig-Martínez y Picaso (2004), estudian la eficiencia de las cooperativas de cítricos en la Comunidad Valenciana utilizando una perspectiva estática (Martínez y Martínez-Carrasco, 2002).

Es válido mencionar, además, que se está desarrollando todo un campo de aplicación que tiene en consideración el aspecto medioambiental, dando esta nueva metodología lugar a la estimación de la eficiencia medioambiental conjuntamente con la eficiencia técnica.

Los trabajos relacionados con la eficiencia técnica en la actividad del transporte no son numerosos.

Termes (1996) estudia la eficiencia técnica del transporte urbano en 16 regiones de Cataluña para lo cual emplea el método AED. Los principales indicadores considerados son: número de kilómetros útiles, número de viajeros, litros de combustibles consumido por recorrer 100 kilómetros y costos de explotación del transporte. El estudio de eficiencia realizado, utilizando el modelo AED, proporcionó un punto de referencia valioso al medir de forma comparada la eficiencia de los

servicios de transporte seleccionados. El coeficiente de eficiencia obtenido se empleó como un indicador complementario de los anteriores facilitando el seguimiento y la evolución anual de la eficiencia de unos servicios respecto a otros.

Correira et al. (2007) realizan un estudio mediante la aplicación de un modelo basado en el análisis envolvente de datos, sobre la eficiencia de la empresa aérea Varing y Tam, encargadas de garantizar las principales rutas nacionales en Brasil. El estudio lo realizan utilizando los dos enfoques posibles: maximizar el transporte de pasajero con los recursos disponibles y lograr la transportación planificada minimizando el empleo de los recursos disponibles. Los resultados de estos análisis se emplearon para establecer estudios comparativos con otras compañías aéreas.

Monteforte (2006) en la investigación realizada sobre la regulación económica y rentabilidad de la industria del gas natural de México, incluye en una de sus etapas el empleo del método AED para estimar la trayectoria de eficiencia esperada en las empresas de dicha industria. La comparación consigo mismo, a lo largo del tiempo permitió reflejar ganancias condicionadas por el nivel de eficiencia técnica, es decir, el nivel de eficiencia proyectado debe ser igual o mayor que el nivel máximo alcanzado. Por tanto se mide la brecha con respecto a la empresa más eficiente, lo que se traduce en un porcentaje de ajuste tarifario gradual. Las principales variables de entrada fueron: usuarios, longitud del sistema, fugas y energía y los principales factores productivos seleccionados se correspondieron con los costos y gastos y la base de activos fijos.

Leiton (2007) evalúa los diversos modelos que pueden contribuir al análisis económico del transporte ferroviario de carga y pasajero en Bolivia en el período comprendido entre 1998 y el 2002. Para ello contrasta los resultados aplicando un método de frontera estocástica con el método de frontera AED. Las principales variables que representaron la producción son: las toneladas/kilómetros, pasajeros/kilómetros y la distancia. De igual forma los principales factores productivos considerados como relevantes en todas las variantes de modelos AED diseñados fueron el costo de mantenimiento y los costos totales. Los resultados obtenidos demostraron que las empresas que están por debajo de la frontera de

posibilidades de producción están funcionando con una subutilización de sus capacidades entre el 3 y 16 por ciento. Se demostró que el año de mejores resultados fue el 2000, debido a que la empresa realizó importantes esfuerzos durante la construcción del gaseoducto a Brasil cuando estuvo encargada del transporte de maquinaria y equipos para el mencionado proyecto.

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN EL PROCESO DE TRANSPORTACIÓN DE CAÑA

El siguiente capítulo presenta una descripción del proceso de transportación de la caña desde las unidades productoras de esta materia prima hasta su destino, como parte del ciclo productivo del sistema agroindustrial azucarero. Se valora posteriormente los mecanismos de medición de la eficiencia que incorporan esta actividad y finalmente se propone un procedimiento alternativo que puede contribuir a identificar las unidades que presentan mejor o peor desempeño en esta actividad vital del proceso productivo.

2.1 Características generales del proceso de transportación de la caña y la medición de su eficiencia técnica

La caña de azúcar posee la propiedad de ser un producto que al poco tiempo de cosechado se deteriora, por tanto la calidad de la materia prima que entra a la industria dependerá en gran medida de la rapidez con que la misma se traslade desde el campo al central y esto lo determina el funcionamiento del sistema de cosecha y tiro que se implemente.

La caña cosechada se puede transportar directamente al basculador del central o a los centros beneficiadores (centros de acopio o estaciones de limpieza). El tiro directo facilita disponer de un mayor volumen de biomasa cañera, esto es el tallo de caña más parte de sus hojas. La molienda de biomasa genera mayores reservas de bagazo con las condiciones necesarias para ser empleado como combustible renovable, sustituyéndose de esta forma la utilización de petróleo siempre que las condiciones tecnológicas lo propicien.

Para transportar la caña se emplean los siguientes tipos de medios:

- Carretas tiradas por tractores
- Carretas tiradas por bueyes
- Camiones ZIL — 130
- Camiones KAMAZ con un remolque

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN EL PROCESO DE TRANSPORTACIÓN DE CAÑA

Para garantizar los procesos de cosecha y tiro algunas de estas entidades agrícolas disponen de equipos propios y otras reciben los servicios de los centrales a donde tributan la caña y de la base de transporte del MINAZ enclavada en la región.

La caña cosechada se envía fundamentalmente a los centros de acopio o estaciones de limpieza, para eliminar determinados por cientos de materias extrañas (ver figura 2.1). Es importante señalar que las materias extrañas en la caña cosechada se ha incrementado con el corte mecanizado provocando incremento en los costos del tiro. Una vez que la caña es limpiada de materias extrañas en los centros de recepción, es enviada por medio del ferrocarril hasta el basculador del central.

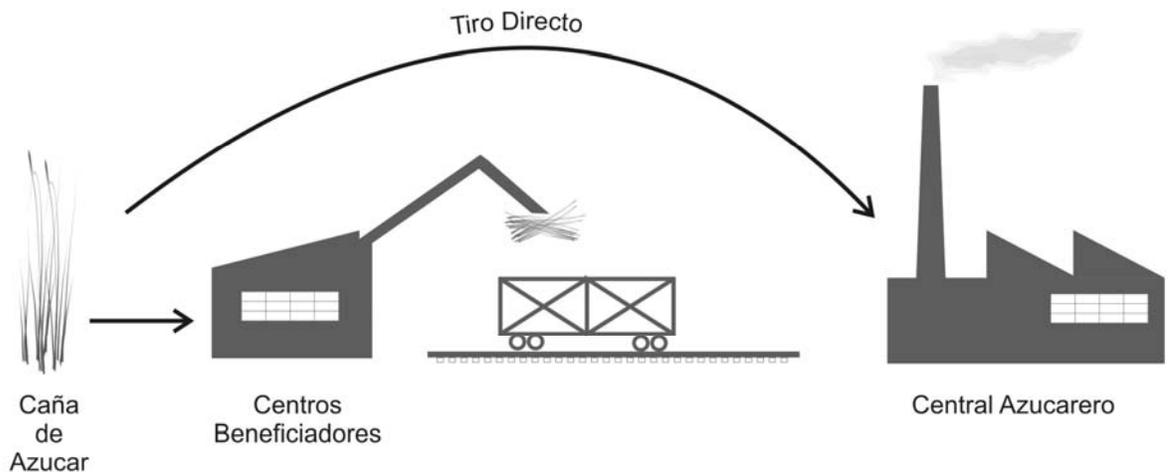


Figura 2.1: Esquema de transportación de la caña
Fuente elaboración propia

Para la carga de la caña de azúcar por ferrocarril en los patios de cada central se cuenta con los carros jaula, los cuales son distribuidos por los centros de recepción. Estos carros tienen una capacidad promedio de 1750 arrobas por carro, equivalente a 20 toneladas. La cantidad de viajes que realiza una locomotora arrastrando entre 10 y 15 carros jaulas varía en dependencia de la disponibilidad de caña, la distancia entre centro de recepción y el central, entre otras razones.

Tanto para los viajes de camino como para los viajes de patio, los carros jaula son situados en los apartaderos y en líneas de patio donde son pesados en la romana y posteriormente enviados al basculador.

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN EL PROCESO DE TRANSPORTACIÓN DE CAÑA

El control de la actividad de transportación de la caña no se restringe a las Unidades Productoras. Estas entidades utilizan como indicador sintético para medir la eficiencia de esta actividad, el costo del tiro por tonelada de caña y de forma agregada contabilizan los gastos de combustible y el consumo físico del mismo, los cuales no son indicadores de referencia para garantizar un proceso de mejora continua en el uso de los principales recursos que se emplean en esta actividad. En el Grupo Empresarial Agroindustrial existe una subdirección que se encarga de controlar y definir estrategias respecto a los modos, medios y demás elementos a considerar para que la caña cosechada llegue en el más breve plazo a los centros receptores de la misma. Los intereses de esta subdirección no siempre están en correspondencia con los intereses económicos de las unidades productoras, que son las que asumen los gastos cuando emplean transporte propio. Esta situación ha provocado que los costos totales del ciclo productivo se encarezcan debido a los incrementos de estos en la actividad de transportación.

Teniendo en cuenta lo anterior se desea establecer una medida de eficiencia que permita conocer el desempeño de los productores cañeros en una de las actividades claves que garantiza la comercialización de producto cosechado. De esta forma se puede lograr un análisis integral de todas las etapas del proceso productivo. Para estimar un índice que satisfaga estas condiciones se propone en esta investigación un procedimiento basado en el Análisis Envolvente de Datos.

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN EL PROCESO DE TRANSPORTACIÓN DE CAÑA

2.2 Diseño del procedimiento para la evaluación de la eficiencia en el proceso de transportación de la caña

Por la complejidad del instrumento analítico que se emplea para estimar un índice a partir del cual se pueda evaluar el comportamiento de las Unidades Productoras de caña en la transportación de esta materia prima, se proponen las siguientes etapas (figura 2.2):

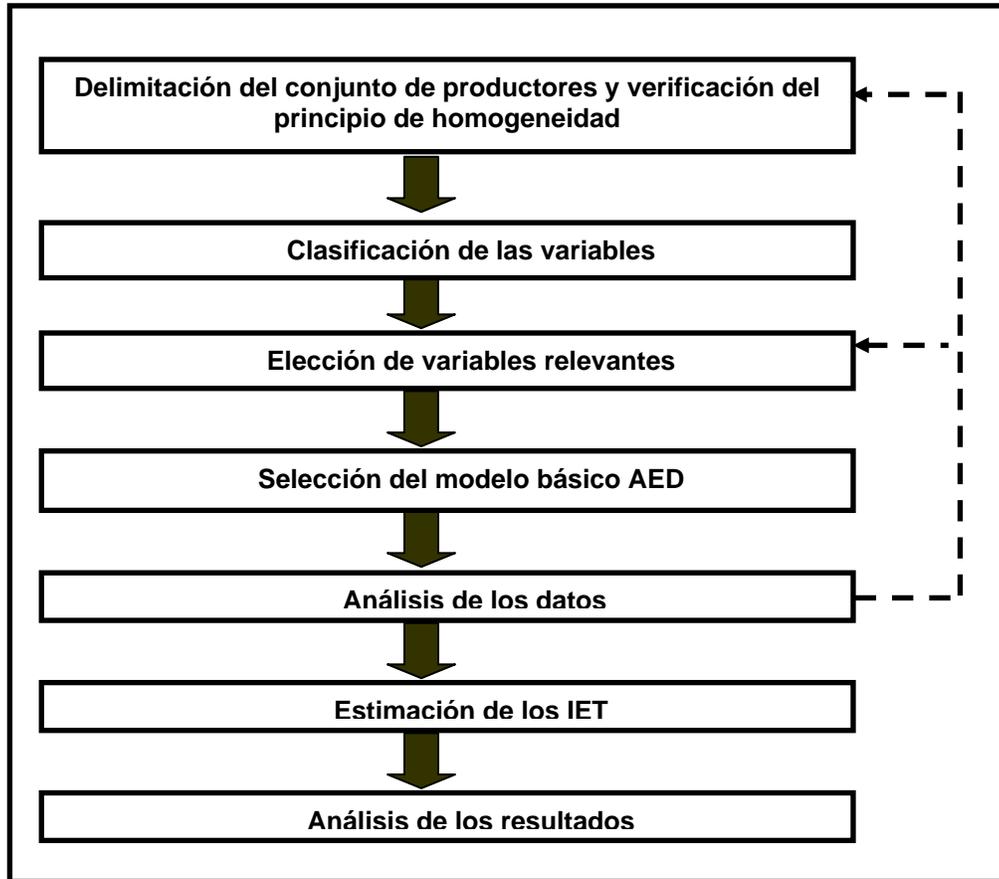


Figura 2.2: Procedimiento general para la medición de la eficiencia técnica.
Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN EL PROCESO DE TRANSPORTACIÓN DE CAÑA

2.2.1 Delimitación del conjunto de productores y verificación del principio de homogeneidad

La elección del conjunto de productores debe estar condicionada por la similitud en las características de los procesos productivos que se quieran evaluar. Además, es importante tener en cuenta que el número de productores a evaluar sea suficientemente amplio para que sea efectivo el instrumento analítico que se pretende aplicar.

Teniendo en cuenta que el método que se utilizará para medir la eficiencia del proceso es un método de análisis de fronteras, el resultado que se obtiene es relativo, ya que se determina si un productor es eficiente o no en relación al resto de las unidades con que se le está comparando. Por lo que deben existir semejanzas en cuanto a objetivos, tareas, principios de funcionamiento, etc., evitándose de esta forma que un productor sea catalogado eficiente por el hecho de tener mejores condiciones para realizar su actividad productiva que el resto.

2.2.2 Clasificación de las variables

Para seleccionar las variables se pueden seguir los siguientes pasos:

1. Evaluar las posibles variables a incluir en el análisis
2. Clasificación de las variables

Evaluación de las posibles variables a incluir en el análisis

Para la elección de las variables a tener en cuenta para realizar el análisis es necesario delimitar los principales factores que pueden incidir en el proceso de transportación de la caña. Estos factores pueden ser, fundamentalmente, de índole organizativos, tecnológicos y económicos. Los factores organizativos son básicamente los métodos y procedimientos que garantizan la coordinación y utilización racional de los recursos y la fuerza de trabajo disponibles.

Los factores tecnológicos se determinan por la introducción de nuevas tecnologías, que pueden ser la adquisición de nuevos equipos, de piezas nuevas, que mejoren el funcionamiento de los medios de transporte que se utilizan para el tiro como la remotorización de los equipos, entre otros.

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN EL PROCESO DE TRANSPORTACIÓN DE CAÑA

Los factores económicos se vinculan a la implementación de sistemas de pagos e incentivos que estimulen el esfuerzo colectivo en esta actividad que determina la llegada de la materia prima con la calidad requerida a la industria.

Lo anterior evidencia la necesidad de establecer un sistema de indicadores que facilite la organización, planificación y control de la actividad de transportación. Sobre la base de ese sistema de indicadores se seleccionan todas las posibles variables a incluir en el análisis.

Estos indicadores pueden asociarse a algunas de las variables posibles a clasificar en la medición de la eficiencia técnica. Dios et al. (2006) propone la clasificación que se presenta en la figura 2.3.

Clasificación de las variables

La clasificación de las variables presentadas en la figura 2.2 responde a su implicación y función en el proceso de producción y pueden ser expresadas en cualquier unidad de medida.

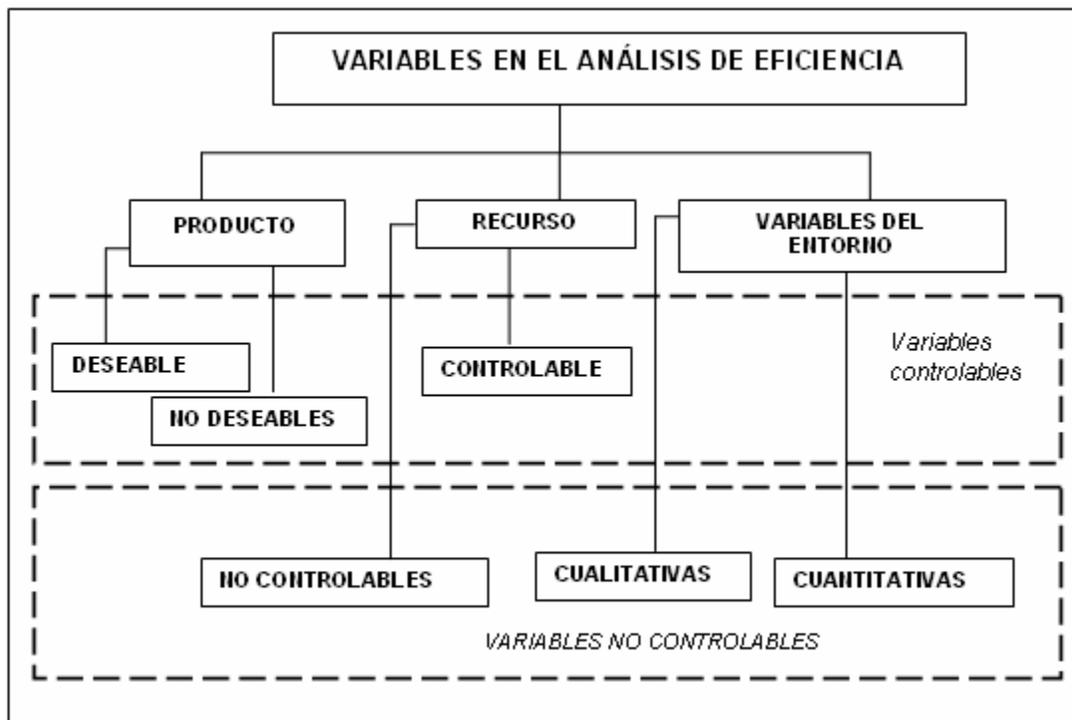


Figura 2.3: Clasificación de las variables para el análisis de eficiencia técnica
Fuente: Elaboración propia a partir de Barrios (2007)

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN EL PROCESO DE TRANSPORTACIÓN DE CAÑA

Productos: Son las variables que representan los bienes o servicios obtenidos en el proceso de producción. Estos a su vez pueden ser:

- Deseables: bienes o servicios con valor económico, para cuya obtención se realiza la actividad productiva, por ejemplo la transportación de caña.
- No deseables: productos que se derivan del proceso de producción asociado a las producciones deseables. Pueden ser considerados en el estudio por su carácter perjudicial, principalmente en el medio ambiente, por ejemplo la emisión de gases tóxicos a la atmósfera.

Factores productivos: representan los factores de producción que se utilizan durante el proceso. Estos pueden ser:

- Controlables: están bajo el control del productor, quien decide sobre cantidad de medios de transporte a utilizar, modos, formas de distribución, puntos de trasbordo, etc.
- No controlables (Fijos): aunque intervienen como factores de producción, vienen determinados de forma exógena, estando, por tanto, fuera del control del productor, por ejemplo, el estado de los caminos.

Variables del entorno: variables no controlables de corto plazo, que inciden en distinta productividad y por tanto en distinta frontera. La no consideración de estas variables en el estudio de eficiencia provoca que se le asignen a las empresas más perjudicadas por el entorno unos objetivos que nunca podrían cumplir con sus medios actuales. Esto da como resultado unos índices de eficiencia irreales y el planteamiento de políticas de mejora inalcanzables. Estas se dividen en:

- Cualitativas: variable categórica que particiona la muestra total en pocas submuestras correspondientes a distintos entornos de producción, por ejemplo, que unas empresas tiren con medios de transporte diferentes bien definidos para cada unidad productora.
- Cuantitativas: pueden ser continuas o discretas. Las continuas pueden tener valores distintos para cada unidad de la muestra y las discretas facilitan que la muestra quede estructurada en pocas categorías.

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN EL PROCESO DE TRANSPORTACIÓN DE CAÑA

2.2.3 Elección de variables relevantes

Una vez clasificadas todas las posibles variables a incluir en el análisis se procede a realizar los siguientes pasos:

1. Seleccionar las variables relevantes
2. Recopilación de datos correspondientes a las variables seleccionadas.
3. Comprobación de correspondencia válida entre las unidades a evaluar y variables relevantes.

Seleccionar las variables relevantes

Para seleccionar las variables relevantes se sugiere utilizar algunos de los siguientes métodos:

- Comprobación de la relevancia teórica de factores productivos a emplear en el proceso de transportación
- Método de expertos
- Análisis de correlación

Para *comprobar la relevancia teórica de la variable en el proceso de transportación* es necesaria una revisión exhaustiva de la literatura relacionada con el objeto teórico de la investigación, que permita comprobar la existencia de esa justificación conceptual.

El *método de expertos* ayuda a organizar las variables según el nivel de importancia teniendo en cuenta que el criterio de especialistas o expertos en el tema que se investiga, de forma tal que se minimice la subjetividad en el proceso de decisión.

Para garantizar efectividad en la aplicación del método, debe justificarse el número de expertos necesario, utilizando un método probabilístico y asumiendo una ley de probabilidad binomial mediante la siguiente expresión:

$$m = \frac{p \cdot (1 - p) \cdot k}{i^2} \quad (2.1)$$

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN EL PROCESO DE TRANSPORTACIÓN DE CAÑA

donde:

i - Nivel de precisión deseado

p - Proporción estimada de errores de los expertos

k - Constante asociada al nivel de confianza elegido

Luego se realiza un proceso de selección de los expertos. La calidad de los expertos influye decisivamente en la exactitud y fiabilidad de los resultados, y en ello interviene la calificación técnica, los conocimientos específicos sobre el objeto a evaluar y la posibilidad de decisión, entre otros.

Para valorar la concordancia de los expertos, se emplea el coeficiente de concordancia de Kendall (Siegel, 1972), basándose en la expresión siguiente:

$$W = \frac{12 \cdot \sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{m^2 (n^3 - n)} \quad (2.2)$$

donde:

i - representa las variables $i = 1, \dots, n$

j - representa los expertos $j = 1, \dots, m$

Δ_i - desviación del valor medio de los juicios emitidos y se calcula por la siguiente expresión:

$$\Delta_i = R_i - \tau \quad (2.3)$$

donde:

R_i - es la puntuación dada a la variable i por el experto j

τ - puntuación promedio de las variables

Estos parámetros se calculan aplicando las siguientes expresiones:

$$R_i = \sum_{j=1}^m R_{ij} \quad (2.4)$$

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN EL PROCESO DE TRANSPORTACIÓN DE CAÑA

$$\tau = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (n + 1) \quad (2.5)$$

El coeficiente de concordancia de Kendall varía entre 0 y 1. Valores cercanos a 1 expresan que hay total acuerdo. Siegel (1972) y Ferrer et al. (1998) plantean que debe oscilar entre 0.5 y 1.

Determinado el coeficiente de Kendall, es necesario realizar la prueba de hipótesis de que los expertos no tienen comunidad de preferencia. Con este criterio se intenta verificar la hipótesis fundamental:

H_0 : No hay concordancia entre los expertos.

H_1 : Hay una concordancia no casual entre los expertos.

Ello puede hacerse utilizando las tablas de Friedman cuando $n < 7$ o mediante la prueba de Chi-cuadrado cuando $n \geq 7$. A partir del cumplimiento o no de la Región Crítica se acepta o rechaza la hipótesis nula (H_0). De rechazarse, la concordancia en el juicio emitido por los expertos es significativa; en caso contrario se deben cambiar los expertos y repetir el proceso.

El *análisis de correlación* facilita comprobar la existencia de al menos una moderada relación estadística entre los factores involucrados en el proceso que se analiza y productos seleccionados.

Recopilación de datos correspondientes a las variables seleccionadas

La recolección de datos debe tener dos momentos. Estos son (Barrios, 2008):

Analizar la posibilidad de realizar un análisis de eficiencia referido a varios períodos de tiempo, esto es, de utilizar paneles de datos. En el sector cañero esta dinamización es necesaria no solo por el carácter no estocástico del método AED, sino también porque los cambios organizativos que se desarrollan como resultado de la tarea “Álvaro Reynoso” (TAR) I y II pueden producir efectos de mediano y corto plazo.

Definición de los datos a emplear en el estudio. En el momento de buscar y depurar los datos correspondientes a las variables seleccionadas puede suceder que exista

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN EL PROCESO DE TRANSPORTACIÓN DE CAÑA

una o varias fuentes de información o bien que no exista información sobre algunas de las variables declaradas y si existe no está completa para todas las unidades de la muestra.

Si se dispone de varias fuentes de información se deben verificar los datos y seleccionar las que se consideren más fiables. La estructura del flujo informativo en esta organización propicia que los datos se dispongan, en ocasiones, en varios niveles de dirección (UPC, bases de transporte y departamentos del GEA).

En caso de que no exista información sobre alguna variable se pueden incluir variables *proxy*, las cuales sirven para agrupar a otro conjunto de variables que tienen información sobre las relevantes y aunque, como plantea Muñiz (2001), la relación con el verdadero factor no siempre está plenamente justificada, es necesaria su inclusión si se quiere una evaluación realista y rigurosa de los productores analizados.

Si no se dispone de información sobre alguna variable para cierta unidad evaluada, se elimina al productor de la muestra seleccionada; de ahí la estrecha relación que existe entre esta etapa y la etapa I.

Comprobación de correspondencia válida entre las unidades a evaluar y variables relevantes

Una vez definidas las variables relevantes es necesario comprobar si no existe una escasez relativa de productores a evaluar en relación al número de variables seleccionadas. Esto se debe a que a medida que dicho número aumente, también lo hará la cantidad de unidades consideradas eficientes. En este caso se utilizará el criterio de Banker et al. (1989): el número de unidades analizadas debería ser igual o superior al triple de las variables seleccionadas.

Una vez seleccionadas las variables se especifica el modelo matemático a emplear.

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN EL PROCESO DE TRANSPORTACIÓN DE CAÑA

2.2.4 Selección del modelo básico AED

Para identificar los supuestos en que se fundamenta el modelo de programación lineal a seleccionar es necesario desarrollar los siguientes pasos:

1. Establecimiento de la orientación de la medida de eficiencia
2. Especificación de la tipología de rendimientos de escala
3. Selección de la medida de eficiencia técnica
4. Definición del modelo AED

Una unidad ineficiente puede convertirse en eficiente, bien maximizando la producción dado un nivel de recursos, o minimizando el empleo de los recursos para un nivel de producción dada. Esto significa que alcanzar la eficiencia técnica implica elegir una dirección, esto es, seleccionar un camino para llegar a la frontera.

Las direcciones básicas son:

- Orientación a los recursos: se persigue el objetivo de minimizar los factores productivos empleados para conseguir un determinado nivel de producción.
- Orientación a la producción: se trata de maximizar la cantidad que se podría llegar a producir con cierta cantidad de factores productivos.

Una vez definida la orientación de la medida de eficiencia o la meta que se quiera optimizar es necesario identificar la tipología de los rendimientos a escala que caracteriza la tecnología de producción. Los rendimientos a escala, indican los incrementos de la producción que se derivan del incremento de todos los factores productivos en el mismo porcentaje, y pueden ser constantes (el incremento porcentual de la producción es igual al incremento porcentual de los factores), crecientes (el incremento porcentual de la producción es mayor que el incremento porcentual de los factores) o decrecientes (el incremento porcentual del producto es menor que el incremento porcentual de los factores).

Las fronteras AED que se estiman con mayor frecuencia son las que presentan rendimientos constantes a escala (RCE) y rendimientos variables a escala (RVE).

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN EL PROCESO DE TRANSPORTACIÓN DE CAÑA

La definición de la tipología de rendimientos de escala (TRE) seleccionada condiciona la medida de eficiencia técnica a utilizar. Si se considera que la tecnología evaluada presenta rendimientos constantes a escala, entonces se puede determinar un índice de eficiencia técnica global. En caso de que la tecnología presente rendimientos variables a escala se puede estimar un índice de eficiencia técnica pura. La combinación de tipologías de rendimientos facilita estimar índices de eficiencia de escala.

Los modelos de programación lineal que comúnmente se emplean para estimar índices de eficiencia técnica se muestran en la figura 2.4.

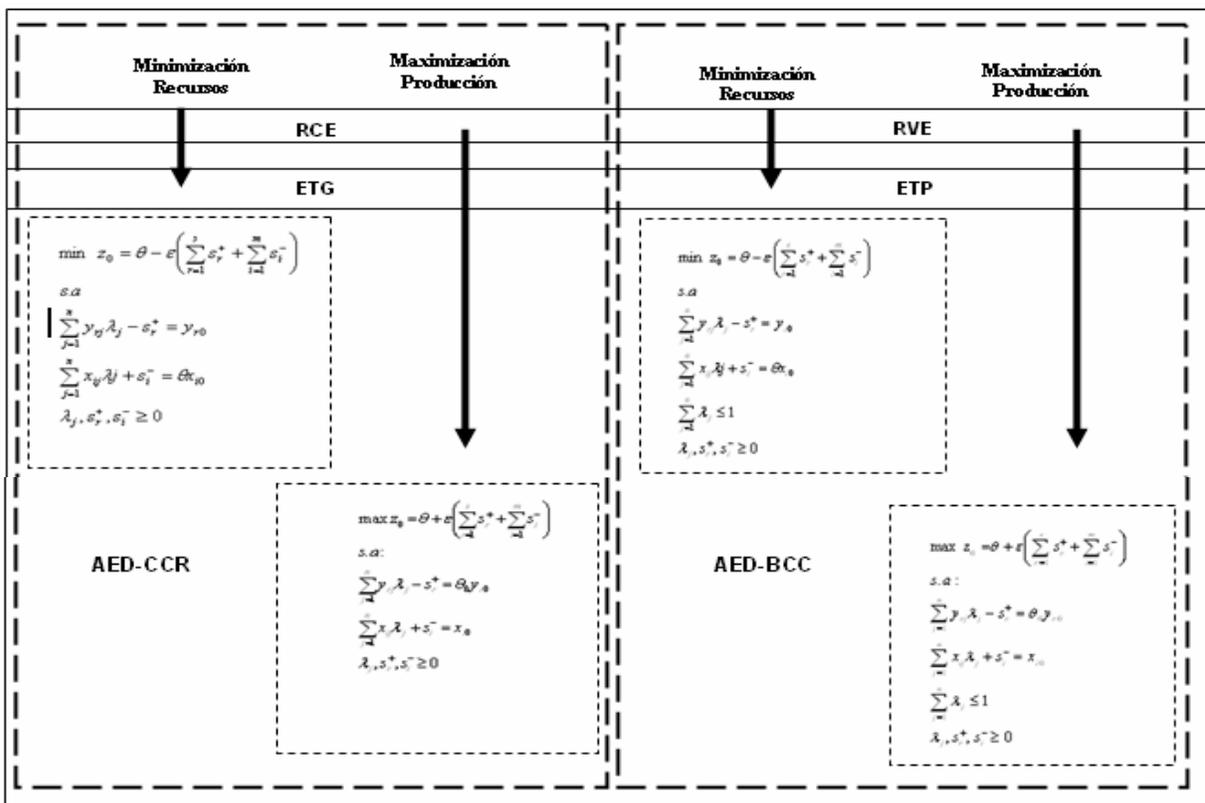


Figura 2.4: Variantes del modelo AED
Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN EL PROCESO DE TRANSPORTACIÓN DE CAÑA

2.2.5 Análisis de los datos

El procesamiento de los datos requiere de un análisis descriptivo previo, esto es, determinar medidas de tendencia central, variabilidad y otras permiten a priori realizar un análisis preliminar con la información recopilada. Los mismos pueden estar enfocados a:

- Existencia de datos inapropiados o datos extremos que pueden distorsionar el análisis
- Obtención de valores medios y del rango de variación de las variables (valor máximo- valor mínimo)
- Mejores y peores resultados de los factores de eficiencia
- Evolución en el tiempo de las variables (cuando se emplean datos panel)

En caso de que sea posible obtener datos de las variables seleccionadas relativos a varios periodos es conveniente realizar un análisis dinámico de la eficiencia técnica, lo que posibilita estudiar el cambio de la eficiencia en el tiempo y establecer un rango de variabilidad para estos estimadores puntuales. De esta forma se logra minimizar las desventajas propias de este método cuantitativo (Barrios, 2008).

2.2.6 Estimación de los IET⁷

Los índices de eficiencia técnica son magnitudes multidimensionales y por esta razón se recurre a programas específicos para estimar los mismos. Existen diversos programas computacionales que permiten resolver un modelo de programación lineal, pero no abundan aquellos que simultáneamente resuelvan varios problemas de programación lineal y estimen una frontera eficiencia. Se propone utilizar el programa “Análisis Frontera” (*Frontier Analyst Professional*) desarrollado por *Banxia Software Limited*, en su versión 3.0, para lo cual deben seguirse los siguientes pasos:

1. Preparar y entrar los datos
2. Especificar tipo de variables y modelo básico AED

⁷ Índice de Eficiencia Técnica

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN EL PROCESO DE TRANSPORTACIÓN DE CAÑA

3. Obtener los índices de eficiencia técnica

Los datos deben estar tabulados. La primera columna contiene el código asignado a cada productor a evaluar. Las siguientes incluyen la información relacionada con los productos y las restantes los datos sobre los factores productivos. Luego de abrir el programa se debe crear un nuevo fichero. Se selecciona la opción conveniente para la entrada de los datos. Se marcan los datos y se introducen los mismos.

Una vez que los datos están dentro del programa se procede a definir los tipos de variables y las características del modelo concreto en el que se sustenta la obtención de los índices de eficiencia técnica.

Este programa tiene la opción de identificar tres tipos de variables: producción, factor controlable e incontrolable. La inclusión de factores fijos se limita a una restricción más del problema e interviene indirectamente en el índice de eficiencia técnica estimado. Antes de obtener al resultado final es necesario fijar la combinación criterio de optimización-tipología de rendimiento. Se pueden emplear las siguientes variantes:

- Maximizar la producción con rendimientos constantes a escala
- Maximizar la producción con rendimientos variables
- Minimizar el empleo de factores con rendimientos constantes
- Minimizar el empleo de factores con rendimientos variables

Este programa además permite prefijar el valor de ε con un nivel de tolerancia de $0.1E^{-6}$ y los rangos de los pesos y ponderaciones en un intervalo entre 0 y 100.

La información sobre los índices de eficiencia técnica se presenta en varios reportes (ver figura 2.5). Estos se diferencian por el nivel de explicación de los resultados, que no se limitan a la puntuación de la eficiencia técnica. Para cada unidad evaluada además, se conoce la tipología de rendimiento de escala, las posibles metas a alcanzar en cuanto al incremento de la producción o reducción de los factores productivos, las unidades de referencia, entre otros.

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN EL PROCESO DE TRANSPORTACIÓN DE CAÑA

2.2.7 Análisis de los resultados

Para analizar los datos obtenidos se propone las siguientes dimensiones:

- Análisis global de la eficiencia técnica
- Análisis de la eficiencia técnica por factores productivos
- Análisis de la eficiencia técnica por unidades
- Análisis especiales de eficiencia técnica

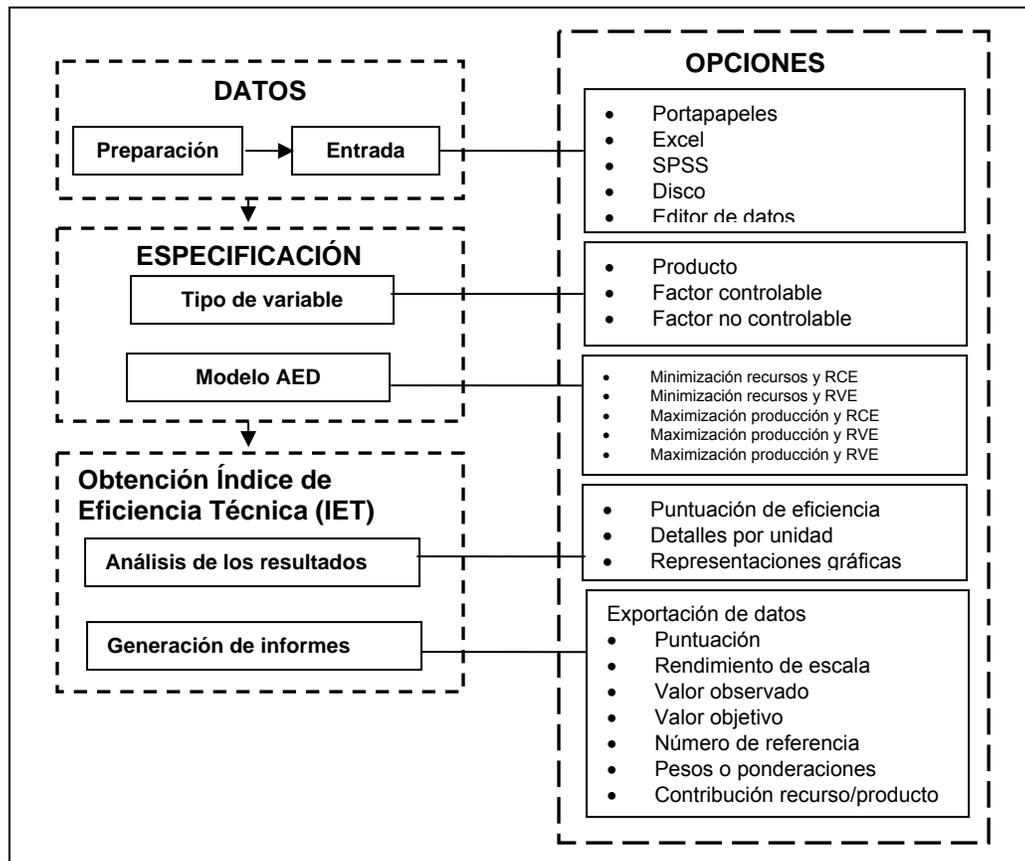


Figura 2.5: Reportes de eficiencia

Fuente: Elaboración propia

Análisis global de la eficiencia técnica

El análisis global de la eficiencia técnica debe alcanzar los siguientes aspectos (Barrios, 2008):

- Comportamiento dinámico de la eficiencia técnica

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN EL PROCESO DE TRANSPORTACIÓN DE CAÑA

- Estructura interna de la eficiencia técnica

En caso de que sea posible realizar el análisis del comportamiento dinámico de la eficiencia técnica, el mismo debe comprender:

- Eficiencia técnica global promedio para el período analizado
- Eficiencia técnica global promedio por zafra
- Mejoras potenciales por zafra

Y la estructura interna de la eficiencia técnica debe agrupar los siguientes elementos:

- Número de unidades eficientes
- Número de unidades ineficientes
- Unidades con rendimientos crecientes a escala
- Unidades con rendimientos decrecientes a escala
- Por ciento de unidades eficientes
- Por ciento de unidades ineficientes
- Cantidad de unidades productoras por rangos establecidos de variación de la puntuación de eficiencia técnica.

Análisis de la eficiencia técnica por factores productivos

Este análisis permite verificar si existe una relación significativa entre los factores considerados y la medida de eficiencia técnica obtenida. Además facilita descubrir algunas de las razones que provocan la ineficiencia de las unidades evaluadas.

Análisis de la eficiencia técnica por unidades

Este análisis debe incluir los siguientes elementos:

- puntuación de la unidad. Si es igual a 1 (o 100%) la unidad se considera eficiente y si es menor que uno se cataloga de ineficiente.
- valores objetivos o metas. Si la orientación del análisis es hacia la maximización de la producción, entonces estos valores expresan las mejoras potenciales, es decir, expresan en cuánto se podría haber incrementado la

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN EL PROCESO DE TRANSPORTACIÓN DE CAÑA

producción con el consiguiente ahorro de recursos productivos. En caso de que el estudio esté enfocado hacia la minimización de los recursos, las mejoras potenciales son indicativas de reducción posible de recursos con los posibles incrementos de las producciones.

- unidades que debe considerar como referentes para su mejoramiento. Esta información es válida para unidades ineficientes. Si son varias las unidades de referencia, se debe precisar además cuáles son las más importantes.
- número de veces que una unidad eficiente actúa como referente de unidades ineficientes. Si el número de veces es menor que dos se deben realizar estudios complementarios que confirmen la condición de eficiente o no⁸.
- comportamiento de los rendimientos de escala

Análisis especiales de eficiencia técnica

Estos análisis se realizan cuando existe algún interés por parte de los usuarios de vincular la eficiencia técnica con otros aspectos no abordados en el estudio o cuando se quiere complementar otros análisis.

⁸ La verificación de esta condición puede realizarse a partir de consultas a especialistas o expertos en producción de caña, mediante un estudio riguroso del comportamiento de todos los indicadores técnico-económicos utilizados para evaluar el comportamiento de estas unidades productoras, entre otros.

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN LAS UBPC CAÑERAS DE LA PROVINCIA VILLA CLARA

En el presente capítulo se demuestra la viabilidad y validez del procedimiento desarrollado en el apartado anterior, cuya finalidad es la evaluación de la eficiencia técnica, específicamente para transportar la caña desde en las Unidades Básicas de Producción Cooperativa (UBPC) cañeras hasta la industria. Para aplicar el procedimiento propuesto en el capítulo anterior se desarrollan cada una de las etapas, con el fin de lograr simplificar un proceso relativamente complejo, que culmina con el análisis de los resultados obtenidos.

3.1 Delimitación y verificación del principio de homogeneidad del conjunto de productores

Los productores a evaluar se encuentran ubicados en la provincia Villa Clara, región central del país con tradición en la producción cañero-azucarera. Este territorio tiene una extensión de 8662,4 Km², con una población de más 800 000 habitantes que representa aproximadamente el 8% del total de la población del país. Se encuentra dividido en 13 municipios, de los cuales 9 tuvieron, antes de implementarse los programas correspondientes a la Tarea Álvaro Reynoso, al menos una fábrica de azúcar.

Como el sistema agroindustrial azucarero ha estado involucrado, a partir del año 2002, en un programa de redimensionamiento del sector, donde se seleccionaron las mejores áreas para las plantaciones cañeras y los centrales con mejores rendimientos productivos, el esquema logístico de distribución de la caña también presentó modificaciones. Esta situación conllevó a que se incrementaran los kilómetros para transportar la caña desde el campo a los centrales seleccionados para la molienda de esta materia prima.

Las Unidades Básicas de Producción Cooperativa (UBPC) cañeras fueron las principales unidades productoras afectadas por la reestructuración azucarera. Para seleccionar la muestra se consideraron los antecedentes que se relacionan a continuación.

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN LAS UBPC CAÑERAS DE LA PROVINCIA VILLA CLARA

Como parte de este programa, algunas UBPC cañeras se convirtieron en empresas agropecuarias; otras se han fusionado con entidades de mejores resultados productivos, lo que ha provocado que de 95 UBPC cañeras que existían en la zafra 2002-2003, al culminar la zafra 2006-2007 solo se dedicaban a la producción cañera 87 unidades. De este total, 4 están vinculadas a la empresa azucarera Carlos Baliño, la cual se dedica a producir azúcar orgánica. Por los requerimientos tecnológicos establecidos para este producto ecológico, el proceso productivo, que abarca desde el campo hasta la industria, sufre algunas modificaciones que invalidan la inclusión de las unidades referidas en el análisis. Asimismo, no se incluyen aquellas UBPC que, en el período analizado, transitoriamente se dedicaron a la producción agropecuaria y en la actualidad tienen como producción fundamental la caña de azúcar. Por tanto, se seleccionaron 78 UBPC cañeras que suministran esta materia prima a 9 Empresas Azucareras de la provincia, por lo que la muestra empleada en este estudio representa el 82% del total de UBPC cañeras. La cantidad de las mismas vinculadas a cada empresa azucarera se recoge en la tabla 3.1.

No.	Empresa Azucarera	UBPC
1	Heriberto Duquesne	10
2	Abel Santamaría	5
3	José María Pérez	11
4	Perucho Figueredo	6
5	Quintín Banderas	6
6	Panchito Gómez Toro	8
7	Ifraín Alfonso	11
8	Héctor Rodríguez	11
9	George Washington	10
TOTAL		78

Tabla 3.1: Cantidad de UBPC vinculadas a cada empresa azucarera
Fuente: Departamento de Caña. GEA, Villa Clara.

Las características que fundamentan la homogeneidad de la muestra son las siguientes:

1. Sostienen como principal misión la producción de caña y por tanto más del 70% de la producción transportada es la caña de azúcar.

2. El equipamiento propio para el tiro tecnológicamente presenta las mismas limitaciones.
3. El proceso de transportación de la caña es similar en cada una de las unidades.
4. Todas se rigen por los mismos principios organizativos y se afectan en igual medida por las decisiones tomadas a niveles superiores.
5. Los factores que caracterizan el desempeño de las UBPC, en cuanto a la actividad de transportación, son iguales, a pesar de la diferencia en la intensidad o magnitud.

3.2 Clasificación de las variables

La clasificación de las variables a incluir en esta investigación se desarrolló a partir de un estudio detallado del proceso de transportación de la caña, que contempló entre otros aspectos, la revisión de la documentación existente sobre la actividad de transportación y su incidencia en los resultados finales; las consultas realizadas a un grupo de especialistas experimentados en caña del Grupo Empresarial Agroindustrial (GEA) de Villa Clara. De acuerdo con la clasificación previamente establecida, las variables se definieron y justificaron como sigue:

Factores productivos

- *Número de equipos propios para el tiro.* Toda UBPC dispone de un parque de equipos que facilita el tiro de la caña durante la zafra azucarera. En esta investigación se consideran las carretas tiradas por tractores, que es el medio predominante en estas entidades.
- *Números de equipos alquilados.* Las UBPC se auxilian de equipos ajenos para el tiro porque el parque disponible es insuficiente para garantizar el tiro ininterrumpido de caña, debido a las condiciones específicas de la materia prima, principalmente a su carácter perecedero.
- *Costo del tiro por tonelada de caña.* Expresa en unidades monetarias todos los insumos necesarios para realizar el tiro de la caña

- *Toneladas de combustible consumidos por tonelada de caña transportada.* El recurso es indispensable para el movimiento de los equipos, además es uno de los más escasos y por tanto las decisiones de transportación dependen principalmente de la disponibilidad del mismo.
- *Distancia a recorrer en kilómetros.* Este es un factor determinante en la planificación de las rutas de transportación, considera el estado de los caminos para reducir las posibilidades de deterioro de los equipos.
- *% de caña a transportar con equipos alquilados (%CTEA).* Este indicador sintetiza el aspecto relacionado con la caña a transportar con equipos que las UBPC necesariamente deben alquilar para que la caña llegue a los centros receptores.
- *Gastos de alquiler de equipos de tiro.* Este gasto está directamente relacionado a las tarifas de las entidades que prestan este servicio y cantidad de caña a transportar.

Producto final

- Toneladas de caña a transportar.

3.3 Elección de variables relevantes

Para seleccionar las variables se aplicó el método de expertos. Los pasos desarrollados fueron los siguientes:

1. Cálculo del número de expertos:

$$n = \frac{0.01 \cdot (1 - 0.01) \cdot 6.6564}{(0.10)^2} = 6.58 \approx 7 \text{ expertos}$$

2. Codificación de los factores productivos:
 - A. Número de equipos propios para el tiro
 - B. Números de equipos alquilados
 - C. Costo del tiro por tonelada de caña

- D. Toneladas de combustible consumidos por tonelada de caña transportada
 - E. Distancia a recorrer en kilómetros
 - F. Por ciento de caña transportada con transporte ajeno
 - G. Gastos de alquiler de equipos de tiro
3. Determinación de la prioridad en la selección de los factores productivos básicos. Para la realización de los cálculos se utilizó una hoja de Excel. Los resultados obtenidos se presentan en el Anexo 1.
 4. Comprobación de la concordancia entre el juicio de los expertos

$$\chi^2 = 7 \cdot (7 - 1) \cdot 0.8484 = 36.48 \qquad \chi_{0.01,7}^2 = 16.8$$

Por tanto se rechaza la hipótesis nula. Hay consistencia entre el juicio de los expertos.

El orden de prioridad dado por los expertos es el siguiente:

1. Costo del tiro por tonelada de caña
2. Toneladas de combustible consumidos por tonelada de caña transportada
3. Distancia a recorrer en kilómetros
4. Número de equipos propios para el tiro
5. Números de equipos alquilados
6. Por ciento de caña transportada con transporte ajeno
7. Gastos de alquiler de equipos de tiro

El procedimiento de cálculo se presenta en el anexo 1.

La comprobación del grado de importancia de las variables en este tipo de proceso se realizó parcialmente al no encontrarse suficientes investigaciones relacionadas con la medición de la eficiencia técnica en la actividad del transporte.

A partir del análisis realizado se decidió incluir en el análisis las siguientes variables:

Factores:

- Costo del tiro por tonelada de caña
- Distancia a recorrer en kilómetros
- Número de equipos propios para el tiro
- Por ciento de caña transportada con transporte ajeno

Productos

- Toneladas de caña a transportar

La selección final de las variables se debe a las siguientes razones:

- No se pudo acceder a la información detallada sobre las toneladas de combustible consumido por tonelada de caña transportada.
- El número de equipos alquilados tampoco fue posible precisar en detalle porque una misma base de transporte presta servicio simultáneamente a varias UBPC.
- Las demás variables consideradas por los expertos están implícitamente en las variables consideradas.

Recopilación de datos correspondientes a las variables seleccionadas

En esta investigación se seleccionaron solamente los datos correspondientes a la zafra azucarera 2006-2007.

Las fuentes de datos utilizadas en la investigación son las siguientes:

- Informes de los análisis económico-productivos
- Tablas de distancia
- Documentos de la subdirección de mecanización

Una vez recopilada toda la información se procedió a clasificar cada una de las entidades. En el anexo 2 se muestra la codificación empleada en la investigación. Todos los datos relacionados con las variables empleadas en el estudio se recogen en el anexo 3.

3.4 Selección del modelo básico AED

Para esta investigación el modelo matemático seleccionado se sustenta en las siguientes condiciones:

- La orientación al modelo se corresponderá con los objetivos económicos del sector: maximizar la producción de toneladas de caña y por tanto la transportación de la misma.
- Se consideran los rendimientos variables a escala, entre otras razones, por estar sometido el proceso económico objeto de estudio a las condiciones cambiantes del entorno, principalmente las condiciones naturales.

Teniendo en cuenta la tipología de rendimiento de escala seleccionada, la medida de eficiencia técnica que corresponde estimar en este estudio empírico se relaciona con el índice de eficiencia técnica pura (ETP).

De ahí que el modelo que subyace en la estimación de los IET se formula de la siguiente forma:

$$\max z_0 = \theta + \varepsilon \left(\sum_{r=1}^s s_r^+ + \sum_{i=1}^m s_i^- \right)$$

s.a :

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = \theta_0 y_{r0} \quad r = 1, \dots, s \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = x_{i0} \quad i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (3)$$

$$\lambda_j, s_r^+, s_i^- \geq 0 \quad r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (.4)$$

donde:

z_0 - eficiencia técnica relativa para la unidad evaluada

ε -es un número real, positivo y pequeño

λ_j -representa el peso o intensidad de la unidad j

θ -es la puntuación de eficiencia técnica de la unidad evaluada

y_{r0} - cantidad de producto r producido por la unidad evaluada

x_{i0} - cantidad de insumo i consumido en la unidad evaluada

y_{rj} - cantidad de producto r producido por la j-ésima unidad

x_{ij} - cantidad de insumo i consumido en la j-ésima unidad

S_r^+ - Variable de holgura asociada a la producción. ⁹

S_i^- - Variable de holgura asociada a los factores productivos. ¹⁰

3.5 Análisis de los datos

A partir de la información recopilada sobre las variables relevantes, se realizó un análisis de los estadígrafos fundamentales, los cuales se exponen en la tabla 3.2.

Zafra	Estadísticos básicos	Toneladas de caña a transportar (t)	Costo del tiro (\$/t)	Equipos de tiro (u)	Distancia a recorrer (Km)
2006-2007	Total	1070234.84	274.30	316	
	Media	13720.96	3.52	4	15
	Desviación estándar	6141.20	1.58	3	6
	Mínimo	985.02	1.49	1	4
	Máximo	29487.27	10.62	14	30

Tabla 3.2: Estadística descriptiva de los datos
Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la tabla anterior, en la provincia se presentan UBPC de gran, mediano y pequeño tamaño. Las UBPC que disponen de más de 1000 hectáreas necesitan transportar importantes volúmenes de caña que en esta zafra rebasaron las 29 000 toneladas. Las que presentan menos de 536 hectáreas requieren de menos recursos para la transportación. El costo del tiro osciló entre \$1.49 y \$10.62 por tonelada de caña transportada. En estos valores influyen

⁹ S_r^+ expresa la cantidad en que sería posible incrementar el producto r para la unidad evaluada, manteniendo el mismo nivel de recursos.

¹⁰ S_i^- expresa la cantidad en que sería posible reducir el factor productivo i para un mismo nivel de producción.

significativamente las distancias a recorrer y el encarecimiento de las piezas y otros insumos para tener a los equipos funcionando la mayor parte del período de zafra. Las UBPC que disponen de más equipos para el tiro pueden tomar decisiones a partir del parque de equipos disponibles, las cuales pueden abaratar, en cierta medida, el costo relacionado con esta actividad.

3.6 Estimación de los IET

Para el procesamiento de la información se utilizó el *software Frontier Analyst Professional* desarrollado por *Banxia Software Limited*, en su versión 3.0. Este programa ejecuta un proceso bietápico para la estimación de los índices de eficiencia técnica. Además, facilita información sobre el número de veces que una unidad productiva eficiente actúa como referente (o *benchmark*) e identifica el conjunto de unidades eficientes con las cuales debe compararse cada unidad ineficiente, detallando la magnitud de dicha comparación. Igualmente, este programa es capaz de asumir variables controlables y no controlables.

Los datos empleados para estimar los índices de eficiencia técnica aparecen en el anexo 3 y el resumen de los índices de eficiencia de la actividad del tiro de la caña para la zafra 2006-2007 aparecen en el anexo 4.

3.7 Análisis de los resultados

Relación eficiencia técnica y producto - factores

La relación lineal entre las puntuaciones de eficiencia, las toneladas de caña a transportar y los factores, para la zafra 2006-2007, se presenta en la tabla 3.3. Los resultados obtenidos corroboran que todos los factores seleccionados, están asociados, en alguna medida, a los índices de eficiencia técnica estimados, esto es, que todos ellos pueden influir en la mejora de la eficiencia técnica del proceso de transportación de caña de las UBPC. Por tanto, este análisis ratifica la pertinencia de todas las variables utilizadas en la investigación.

Zafra	Caña a transportar	Costo del tiro	Equipos agrícolas propios	Distancia	%caña transportada con equipos alquilados
2006-2007	0.72	-0.38	0.24	-0.47	-0.21

Tabla 3.3: Correlación lineal entre IET y producto y factores

Fuente: Elaboración propia, a partir de los reportes de salida del Frontier Analyst

Los resultados anteriores corroboran que la distancia a recorrer desde el campo hasta los centros de recepción es un factor importante a considerar en análisis que contribuyan a elevar la eficiencia en la gestión de la actividad de transportación de la caña.

Análisis global de la eficiencia técnica

Del total de UBPC evaluadas solamente 21 presentan una eficiente gestión en la actividad de transportación en la zafra considerada; con una eficiencia técnica media del 70%. Los resultados obtenidos permiten inferir que el mayor por ciento de estas entidades productoras de caña operan con rendimientos crecientes a escala, lo que significa que si se contara con los recursos necesarios para incrementar y mejorar el parque de equipos pudieran mejorar los resultados en cuanto a la utilización de los recursos disponibles. Es conocido que la mayor transportación es asumida por empresas de servicios que cobran tarifas elevadas de transportación y aunque por el momento es la única alternativa aprobada (la combinación del empleo de equipos propios y ajenos) resultaría interesante estudiar qué resulta más factible para el sistema agroindustrial azucarero.

En la figura 3.1 se presenta la distribución de frecuencia respecto a los índices de eficiencia técnica obtenidos. Como se puede apreciar solo 21 UBPC resultan eficientes, 19 presentan índices de eficiencia técnica entre el 71 y 99% y 38 de estas entidades no rebasan el 71%, cifra que representa el 49% del total de UBPC evaluada. Por tanto, la actividad de transportación de caña en la provincia se realiza con reservas de eficiencia en el uso de los recursos considerados en el estudio.

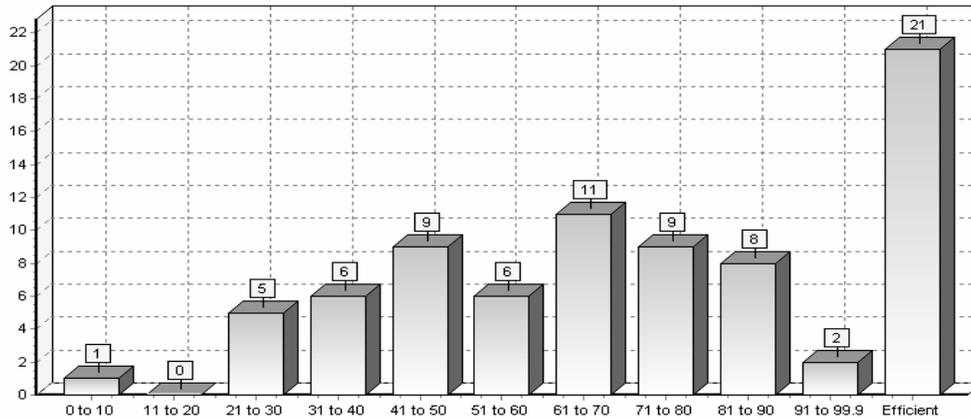
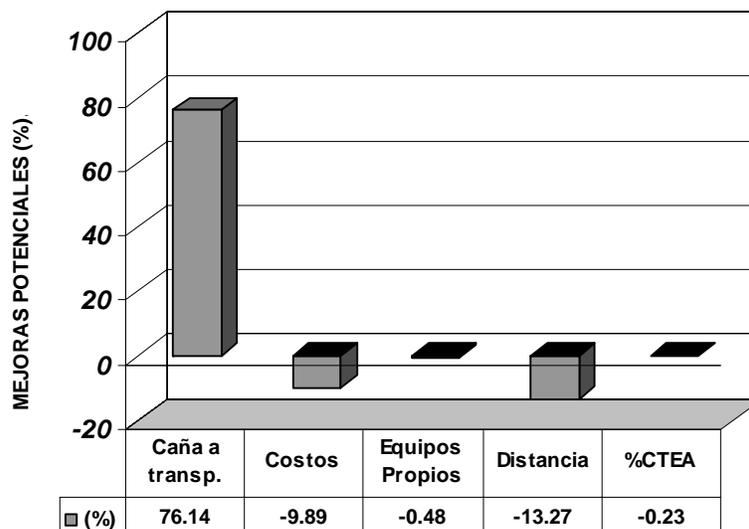


Figura 3.1: Distribución de frecuencia de los IET
Fuente: Reporte de salida del programa *Frontier Analyst*

La magnitud de estas reservas productivas se pueden observar en la figura 3.2. Con los recursos considerados en la investigación la provincia está en condiciones de transportar volúmenes importantes de caña. En el orden interno, las mayores reservas están relacionadas con el costo del tiro expresado en pesos por tonelada de caña transportada, influyendo significativamente en dicho indicador la distancia a recorrer entre oferentes y demandantes de la caña de azúcar.



ZAFRA 2006-2007

Figura 3.2: Mejoras potenciales en el proceso de transportación de la caña
Fuente: Elaboración propia, a partir de los reportes de salida del *Frontier Analyst*

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN LAS UBPC CAÑERAS DE LA PROVINCIA VILLA CLARA

Como resultado de esta investigación se pudo identificar aquellas UBPC cañeras que pueden servir de referencia para las que presentan peor desempeño. En la tabla 3.4 se exponen los principales resultados obtenidos, los cuales deben ser valorados objetivamente, pues existen algunas vinculaciones UBPC – empresa azucarera que en el corto plazo no podrán ser modificadas. Por tanto, las empresas ineficientes tendrían que tratar de enfocar sus estrategias vinculadas a la actividad de transportación en otros factores posibles a mejorar (Ver gráfico en Anexo 5).

UBPC Referente	UBPC Ineficientes
José R. Pérez	Guajabana, Remate, San José, Lorenzo González, José García
Palo Prieto	El Fe, Falero, Dagoberto Cubela, Chiqui Gómez, Máximo Gómez
Humberto Cárdenas	Batey (Chiquitico Fabregat), San José, Jesús Menéndez, Lorenzo González, José García
Tito González	Batey (Chiquitico Fabregat), San José, Lorenzo González, Chiqui Gómez, Máximo Gómez
Buena Vista	Falero, Dagoberto Cubela, Rodolfo León, Crecensio Valdés, Camilo Cienfuegos

Tabla 3.4: Relación de UBPC referentes

Fuente: Elaboración propia, a partir de los reportes de salida del Frontier Analyst

Análisis de la eficiencia técnica por empresa azucarera

En la figura 3.3 se muestra los índices de eficiencia técnica promedio por UBPC vinculadas a cada empresa azucarera. Como puede observarse en aquellas regiones donde la reestructuración azucarera se desarrolló en mayor magnitud, es decir, se desactivaron centrales y surgieron nuevas vinculaciones, los índices de eficiencia técnica presentan mayor deterioro. La empresa azucarera “José María Pérez” asimiló algunas UBPC cañeras que antes pertenecían a las empresa Marcelo Salado, Batalla de Santa Clara y Luis Arcos, las cuales se encuentran ubicadas a más de 15 kilómetros de distancia como promedio. Situación similar ocurrió con la empresa Héctor Rodríguez, a la cual se vincularon las UBPC que abastecían de caña a las empresas Antonio Finalet y Mariana Grajales, lo cual incrementó la distancia promedio entre las áreas agrícolas y la actual empresa receptora de la materia prima

de estas unidades cañeras. Aunque a la empresa Perucho Figueredo se le vincularon las UBPC de Emilio Córdova, la afectación no fue significativa por la relativa cercanía entre estas dos industrias.

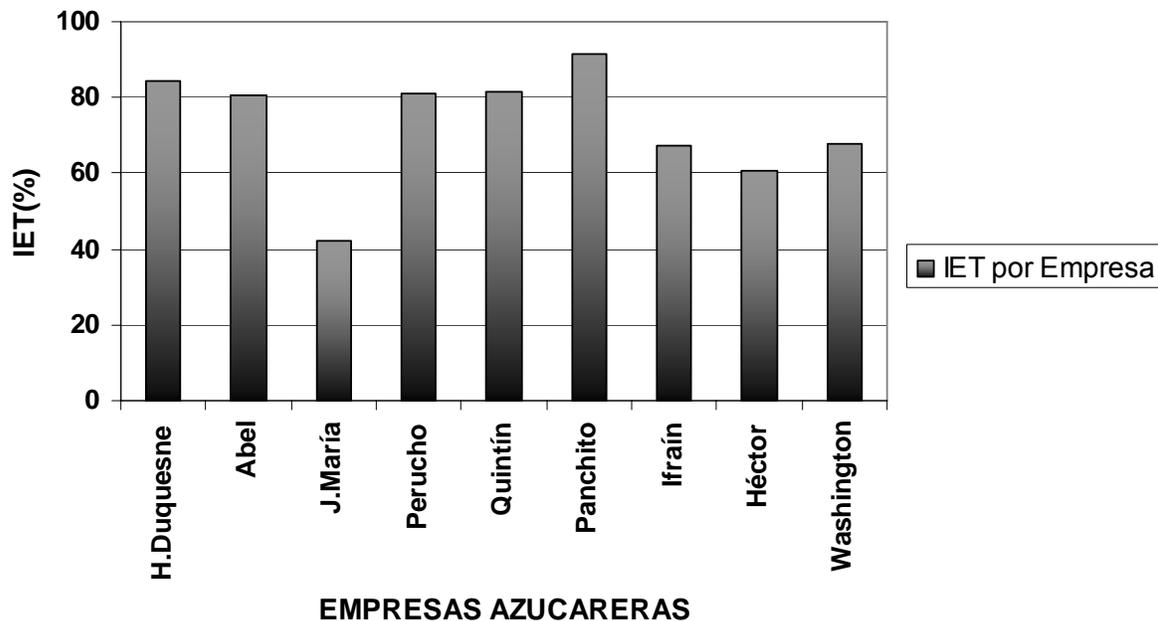


Figura 3.3: IET promedio de las UBPC vinculadas a cada empresa azucarera
Fuente: Elaboración propia, a partir de los reportes de salida del Frontier Analyst

3.8 Análisis comparativo de la eficiencia técnica entre los procesos de producción y transportación de la caña

Realizando un análisis comparativo, utilizando los índices de eficiencia técnica obtenidos en la actividad de producción de la caña de azúcar en la zafra 2006-2007, a partir de la investigación desarrollada por Barrios (2008) y los resultados obtenidos en esta investigación se pudiera valorar de manera más integral la eficiencia del ciclo productivo de las UBPC como entidades económicas. En la tabla 3.3 se resumen los principales resultados considerando solo aquellas UBPC eficientes en la producción de caña.

Como se puede observar en la zafra anterior, de la muestra tomada, 6 de las UBPC cañeras eficientes presentan a su vez eficiencia técnica en la transportación de la caña cosechada. El resto, evidentemente realizan el proceso de transportación de la caña de forma ineficiente. Por tanto, el proceso de redimensionamiento, aunque

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN LAS UBPC CAÑERAS DE LA PROVINCIA VILLA CLARA

logró mediante la implementación de los programas integrales reducir considerablemente los costos fijos que generaba una industria azucarera territorial en franco deterioro, no implicó la solución a los problemas fundamentales, esto es, elevar los volúmenes de caña y sí deterioró algunos indicadores relacionados con una de las actividades del esquema logístico agroindustrial: la transportación de la caña. Si se añade además que no se invierten recursos financieros para revertir el proceso de descapitalización a que ha estado sometido este sector importante de la economía nacional, es difícil resolver en el corto plazo la prioridad de la economía, producir más con menos recursos y esto incluye la actividad de transportación.

UBPC	Índice de eficiencia Técnica (%)	
	En la producción de caña	En la transportación de caña
104	100	100
109	100	78.97
110	100	60.41
201	100	100
202	100	69.42
203	100	100
204	100	83.91
305	100	30.72
306	100	76.82
307	100	47.86
308	100	21.99
401	100	55.03
504	100	81.65
601	100	100
603	100	100
801	100	48.11
802	100	43.54
806	100	100

Tabla 3.5: Análisis comparativo de eficiencia técnica
Fuente: Elaboración propia

De igual forma en la figura 3.5 quedan expuestas, de forma comparativa, las mejoras productivas entre los procesos comparados anteriormente, lo que permite reafirmar que el sistema agroindustrial azucarero de la provincia Villa Clara debe seguir buscando nuevas vías para mejorar el proceso de transportación de la caña, donde se invierten importantes recursos cada vez más escasos más allá del contexto de la economía nacional.

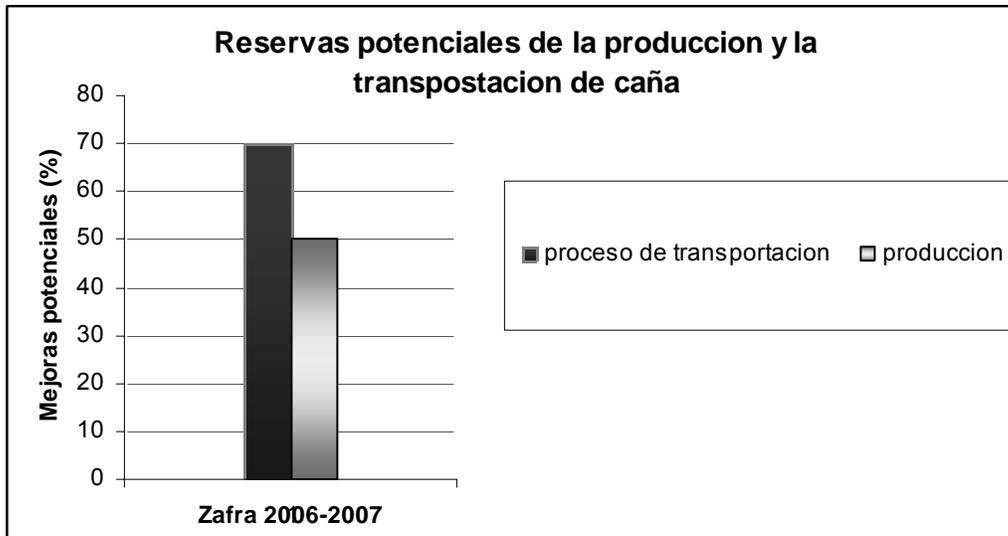


Figura 3.5: Reservas potenciales de transportación y producción
Fuente: Elaboración propia, a partir de los reportes de salida del Frontier Analyst

CONCLUSIONES

- En la literatura consultada sobre eficiencia técnica no existe un consenso sobre el concepto de eficiencia debido a las diversas dimensiones que tiene el mismo. Sin embargo, sí se pudo delimitar el concepto de eficiencia técnica y demostrar que el mismo está englobado en el de eficiencia productiva o económica.
- El sistema actual de evaluación de la utilización de los factores productivos en la actividad de transportación se dispersa en los diferentes niveles de dirección y en el análisis técnico económico realizado al finalizar la zafra azucarera. Solo se emplea el indicador sintético costo del tiro, lo que limita un análisis de mayor profundidad.
- El procedimiento diseñado, basado en el Análisis Envolvente de Datos es apropiado para evaluar la eficiencia técnica de la actividad de transportación de la caña en las UBPC cañeras, pues se adapta a las características esenciales de las mismas.
- Los resultados obtenidos, relativos a la eficiencia técnica en la transportación de caña para la zafra 2006-2007, alcanzan solo el 70%, lo que demuestra reservas de eficiencia en esta actividad vital del proceso productivo.
- Las UBPC eficientes en el proceso de producción de la caña no garantizan un desempeño similar en la transportación de la misma, lo que afecta la eficiencia integral del ciclo productivo.

RECOMENDACIONES

A partir de los resultados alcanzados se propone:

1. Capacitar al personal directivo encargado de categorizar las UBPC cañeras, para introducir los índices de eficiencia técnica de la actividad de transportación, como elemento complementario en el proceso evaluativo al finalizar la zafra azucarera.
2. Continuar profundizando en la temática, con el objetivo de incorporar nuevas variables y métodos que enriquezcan el instrumental analítico para la selección de las variables de mayor influencia en la medición de la eficiencia técnica.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, A. (2001): “Concepto y medición de la eficiencia productiva” en Álvarez, A (coordinador), La medición de la Eficiencia y la Productividad. Ed. Pirámide. Madrid.
- Arzubi, A. y J. Berbel (2001): “Determinación de eficiencia usando AED en exportaciones lecheras de Argentina”. IV Congreso de la Asociación Española de Economía Agraria. Pamplona, 19 – 21 septiembre.
- Baquero de Jiménez, Nancy (2004): *Una Aproximación Metodológica para el Cálculo del IDH mediante el Análisis envolvente de Datos: El Índice de Bienestar*. www.cenda.usb.ve. Consultado 15 de enero de 2008.
- Barrios, G. (2007): “Medición de la eficiencia técnica en UBPC cañeras”. Memorias de la VIII convención internacional COOPERAT 2007. (CD-ROM). Junio. Universidad de Pinar del Rio.
- Barrios, G. (2008): “Aplicación del AED para la determinación de la eficiencia técnica en las UBPC cañeras de la provincia Villa Clara”. Tesis presentada en opción al grado científico de Dr. Departamento de economía. UCLV. Cuba.
- Bessent, M. J. Kennintong, y B. Regan (1982): “An application of mathematical programming to assess Productivity in the Houston Independent School Distric” en Management Science.
- Burgess, F. y P. Wilson (1993): “Technical efficiency in veterans administrations hospital”. *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and applications*. Oxford. Oxford University Press.
- Codina, A. (2007): “Eficiencia Vs Eficacia: Un cambio de paradigma”. Revista Gerencia y negocios en Hispanoamérica.
- Coelli, T. y S. Perelman (2001): “Medición de la eficiencia técnica en contextos multiproductos”. Álvarez, A. (coordinador), La medición de la Eficiencia y la Productividad. Ed. Pirámide. Madrid.

- Coll Serrano, Vicente y Olga María Blasco Blasco (2006): *Evaluación de la eficiencia mediante el Análisis Envolvente de Datos. Introducción a los modelos básicos*. Universidad de Valencia.
- Cooper, W., M. Seiford y K. Tone (1997): *Data Envelopment Analysis. A comprehensive Text with Models, Applications, referentes and DEA- Solver Software*. Kluwer Academic Plublisher. Boston.
- Damas, E. y C. Romero (1997): “Análisis no paramétrico de la eficiencia relativa de las Almazaras Cooperativas en la provincia de Jaén.Revista española de Economía Agraria.
- Delgado, María de Jesús e Inmaculada Álvarez (2005): *Evaluación de la eficiencia técnica en los países miembro de la Unión Europea*. www.fcjs.urjc.es. Consultado 4 de febrero de 2008
- De los Ríos, Carlos (2005): *La eficiencia técnica en la agricultura peruana (El caso del algodón Tanguis en los valles Huaraz, Cañete y Chincha)*
- Farell, M.J. (1957): “The measurement of productive efficiency”. *Journal of the Royal Statistical Society*.
- Ferrier, G. y P. Portel (1991): “The productive efficiency of Unites States milk processing cooperatives”. *Journal of Agricultural Economics*.
- Fuentes Pascual, Ramón. (2000): *Eficiencia de los centros públicos de educación secundaria de la provincia de Alicante*.www.eumed.net. Consultado 15 de enero de 2008
- García, A. y R. Aguilar (2003): “Eficiencia técnica y producto potencial en el agro cubano”. www.nodo50.org. Consultado 21 marzo 2008.
- García Prieto, Carmen (2002): *Análisis de la eficiencia técnica y asignativa a través de las fronteras estocásticas de costos: una aplicación a los hospitales de INSALUD*. Tesis de Doctorado. Facultad de ciencias económicas y empresariales. Universidad de Valladolid.

- García, E. y V. Coll (2003): “Competitividad y eficiencia”. Estudios de Economía Aplicada.
- González, E. (2001): “La estimación de la eficiencia con métodos no paramétricos”. Álvarez, A. (coordinador), La medición de la Eficiencia y la Productividad. Ed. Pirámide. Madrid.
- González, E, A. Álvarez y C. Arias (1996): “Análisis no paramétrico de eficiencia en explotaciones lecheras”. Investigación Agraria.
- Grosskopf, S. y V. Valdmanis (1987): “Measuring hospital performance approach”. Journal Health Economics.
- Jarofullah, M. y J. Whiteman (1999): “Scale efficiency in New Zealand dairy industry: a non-parametric approach”. The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics.
- Koopmans, T. (1951): “An analysis of productions as and efficient combination of activities”. Activity analysis of productions and allocation, Cowles Commission for research in Economics. Monograph 13. New York.
- Lestón Quiroga, Jorge GM (2007): Modelos de Eficiencia Económica: El transporte ferroviario. Instituto de Investigaciones socioeconómicas. www.cid.harvard.edu. Consultado 4 de febrero de 2008
- Lima Gavilla, Andy Eduardo (2004): Metodología para el análisis económico. Aplicación a la actividad agroindustrial azucarera en la provincia de Villa Clara. Tesis de Licenciatura. Departamento de Economía. UCLV. Cuba.
- Magnusen, J. (1996): “Efficiency measurement and the operationalization of hospital production”. Health Services Research.
- Marcelino Martínez Cabrera (2002): Productividad y eficiencia en la gestión pública del transporte de ferrocarriles: Implicaciones de Política Económica. Universidad Complutense de Madrid. www.ief.es. Consultado 4 de febrero de 2008

- Martínez, J. y F. Martínez- Carrasco. (2002): “Las empresas de comercialización hortícola de Almería: análisis no paramétrico de eficiencia técnica”. Estudio agro social y pesquero.
- Miranda C, Juan Carlos y Lorena del Carmen Araya: *Eficiencia económica en las escuelas del mece/rural desde la perspectiva del Análisis Envolvente de Datos (AED)*. *www.scielo.cl*. Consultado 15 de enero de 2008
- MINAZ, GEA, Villa Clara (2007): Evaluación económico productiva. Ejercicio Económico 2006-2007. Villa Clara
- MINAZ, GEA, Villa Clara (2007): Categorización Unidades Productoras. Ejercicio Económico 2006-2007. Villa Clara.
- Muñiz, M. (2001): “Introducción de variables de control en modelos DEA”. Álvarez, A. (coordinador), La medición de la Eficiencia y la Productividad. Ed. Pirámide. Madrid.
- Ozcan, Z. y R. Luke. (1993): “A national study of the efficiency of hospitals in urban markets”. Health Services Research.
- Pascual, R. (2002): “Eficiencia de los centros públicos de Educación secundaria de la provincia de Alicante. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad de Alicante.
- Pardo, L. y P. Lara. (2001): “Aplicación de la metodología DEA en la medida de la eficiencia de la producción de leche en Córdoba”. IV Congreso de la Asociación Española de Economía Agraria. Pamplona, 19-21 septiembre.
- Pastor, J. (1995): “Productividad, eficiencia y cambio técnico en los bancos y cajas de ahorro españolas: un análisis frontera no paramétrico. Tesis Doctoral. Departamento de Análisis Económico. Universidad de Valencia.
- Reig – Martínez, E. y A. Picazo Tadeo. (2004): “Analysing farming system with data Enveloment Analysis: citrus farming in Spain”. Agricultural System.

- Ruiz, Y. (2007): Medición de la eficiencia de las unidades de producción cooperativas cañeras de la provincia de Villa Clara: El Análisis Envoltante de Datos. Tesis de Licenciatura. Departamento de Economía. UCLV. Cuba.
- Segura, B. y F. Vidal (2001): “El valor de la ineficiencia técnica en las cooperativas agrarias de comercialización hortofrutícola”. IV Congreso de la asociación española de economía agraria. Pamplona, 19 - 21 septiembre.
- Silva – Portela, A. y E. Thanassouli, (2001): “Descomposing school and school-type efficiency”. European Journal of Operational Research.
- Sinth, S. y E. Fleming (2000): “Performance of dairy plants in the cooperative and private sectors in India”. CEPA Working Papers, 2/2000. University of New England. Armidale.
- Termes Angles Ferran (1996): Transporte urbano colectivo de superficie en Cataluña. www.sindicatura.org. Consultado 4 de febrero de 2008
- Varian, H. (1994): “Microeconomía intermedia. Un enfoque moderno”. 3ra. Edición. Antonio Bosh. Barcelona.
- Vicario Madroño, Victoria, Rafaela Dios Palomares y José Miguel Martínez Paz (2006): La eficiencia técnica en explotaciones multicultivo de la provincia de Córdoba mediante AED. Una comparación con los métodos paramétricos. Departamento de Economía. Universidad de Murcia.
- Vicente Vírseda, Juan Antonio; Oscar Bernal González y Mauricio Beltrán Pascual: *Eficiencia de la dotación en infraestructura y equipamientos en Castilla y León a través del Análisis Envoltante de Datos* www.biblioteca.universia.net. Consultado 15 de enero de 2008.
- Vidal F, B. Segura y F. Del Campo (2000): “Eficiencia de las cooperativas de comercialización hortofrutícola de las comunidades Valencianas”. Revista de estudios agrosociales y pesqueros.
- Zuckerman, S. y J Harley (1994): “Measuring hospital efficiency with frontier cost functions”. Journal of Health Economics.

ANEXO 2: CODIFICACIÓN DE LAS UBPC CAÑERAS

	CÓDIGO	NOMBRE	No.
EA	100	Heriberto Duquesne	
UBPC	101	Batey	1
	102	Álvaro Reynoso	2
	103	El Fe	3
	104	General Carrillo	4
	105	Guajabana	5
	106	Batey (Chiquitico Fabregat)	6
	107	Lagunita	7
	108	Remate	8
	109	San José	9
	110	Falero	10
EA	200	EA. Abel Santamaría	
UBPC	201	Vizcaya	11
	202	Jesús Menéndez	12
	203	Sierra Maestra	13
	204	Lorenzo González	14
	205	José García	15
EA	300	EA. José María Pérez	
UBPC	301	Juan Verdecia	16
	302	V Congreso PCC	17
	303	Dagoberto Cubela	18
	304	Rodolfo León	19
	305	Crecensio Valdés	20
	306	Camacho	21
	307	Luis Pérez	22
	308	Camilo Cienfuegos	23
	309	Chiqui Gómez	24
	310	Refugio	25
	311	Máximo Gómez	26
EA	400	EA. Perucho Figueredo	
UBPC	401	Palma	27
	402	Felipe II	28
	403	Buena Vista	29
	404	Cabarroca	30
	405	Tato Madruga	31
	406	Gregorio Pedroso	32
EA	500	EA. Quintín Banderas	
UBPC	501	Tomás Hormiga	33
	502	Josefita	34
	503	La Piedra	35
	504	Santa Rita	36
	505	Guanilla	37
	506	Bernardo Cuevas	38
EA	600	EA. Panchito Gómez Toro	
	601	Humberto Cárdenas	39
	602	Alejandro Rodríguez	40

	603	13 de Octubre	41
	604	José R. Pérez	42
	605	Combate	43
	606	Palo Prieto	44
	607	Felicidad	45
	608	Antonio Escaño	46
EA	700	EA. Ifraín Alfonso	
UBPC	701	A. Villafaña	47
	702	Tarapaca	48
	703	Teobaldo Núñez	49
	704	Victor Avello	50
	705	Jesús Menéndez	51
	706	Carlos M. de Céspedes	52
	707	La Hoya	53
	708	San Valentín	54
	709	Nicolás Fleites	55
	710	Conyedo	56
	711	José Martí	57
EA	800	EA. Héctor Rodríguez	
UBPC	801	Amistad Cuba - México	58
	802	José A. Ruíz	59
	803	Juan C. Vargas	60
	804	José A. Bacallo	61
	805	Carlos Perera	62
	806	Tito González	63
	807	Playa Colorada	64
	808	Camilo Cienfuegos	65
	809	1° de Mayo	66
	810	Rolando Morales	67
	811	Lucas R. Escobar	68
EA	900	EA. George Washington	
UBPC	901	Jaime H. Vilella	69
	902	Delicias	70
	903	Álvaro Morell	71
	904	Amado Arocha	72
	905	Luis O. Peña	73
	906	Everaldo Saez	74
	907	Orlando Alfonso	75
	908	San Andrés	76
	909	8 de Octubre	77
	910	Mártires del Moncada	78

Fuente: Departamento de Productores Cañeros. GEA, Villa Clara.

ANEXO 3: DATOS DE LA ZAFRA 2006-2007

Unidades	Cantidad de caña para transportar(t)	Costo del tiro	Equipos(u)	Distancia(km)	% de caña transportada con equipos ajenos
101	12963.44	3.01	7	4	30
102	17335.60	3.29	11	8	30
103	16565.10	4.54	11	20	35
104	29487.27	4.47	9	22	65
105	12017.22	1.92	1	10	85
106	25921.30	3.43	8	15	75
107	22054.70	2.44	6	18	75
108	19121.66	2.20	1	25	90
109	18453.24	3.19	2	15	80
110	6268.45	6.76	4	20	30
201	18298.56	2.08	7	10	40
202	12803.87	2.85	3	8	60
203	24398.46	2.59	5	7	80
204	18439.36	2.23	4	9	65
205	11707.53	4.93	2	15	85
301	4319.79	3.15	1	14	70
302	7460.17	3.60	1	10	80
303	5378.05	3.45	3	13	60
304	5987.94	4.08	3	16	60
305	6267.15	4.02	2	14	65
306	16335.52	2.53	1	20	90
307	12704.73	4.11	4	22	70
308	3535.25	2.77	3	18	50
309	17243.95	2.97	6	20	65
310	6260.99	3.50	2	15	60
311	14055.21	2.20	6	14	65
401	14592.01	3.14	4	12	70
402	10611.17	3.08	6	15	30
403	10041.68	3.89	2	14	40
404	13343.04	3.21	8	18	30
405	22544.75	3.68	14	16	30
406	6865.50	3.25	1	13	45
501	6746.55	1.49	1	5	50
502	14274.49	1.81	4	10	60
503	8233.62	2.28	2	8	45
504	14838.73	4.38	2	11	60
505	17562.47	5.19	2	23	65
506	3713.12	10.62	1	15	45
601	26543.05	3.15	4	10	70
602	9482.49	5.67	2	8	40
603	15861.44	5.38	1	20	70
604	22472.24	2.82	2	12	70

605	16814.53	2.53	5	15	60
606	19547.50	3.26	9	18	20
607	13836.16	2.92	4	16	60
608	22673.92	1.97	1	10	95
701	15769.99	2.83	3	5	80
702	16838.71	2.05	2	4	75
703	22400.96	2.61	3	7	85
704	11959.03	3.17	3	5	60
705	17930.87	2.59	3	10	65
706	20365.89	2.30	4	12	75
707	7603.28	2.77	5	18	45
708	14003.30	4.41	4	20	55
709	15079.94	5.87	7	25	45
710	5942.17	6.61	1	28	70
711	985.02	8.31	1	30	65
801	11790.17	5.03	3	20	70
802	7979.51	3.30	2	16	60
803	13564.60	2.56	10	12	20
804	10710.53	2.26	6	15	20
805	7988.52	7.40	8	23	30
806	24093.00	1.71	4	10	75
807	15494.62	3.30	1	21	85
808	10754.21	2.34	2	16	80
809	7860.06	3.63	3	15	65
810	7054.61	5.83	5	25	45
811	6536.45	5.39	3	24	45
901	19478.73	1.61	5	5	60
902	16999.64	2.86	4	12	65
903	19768.04	3.59	4	14	70
904	8523.65	2.48	4	13	50
905	15484.37	3.25	6	15	55
906	14986.25	2.48	7	14	45
907	9704.87	2.83	7	13	30
908	16683.29	3.40	1	15	90
909	12107.38	3.26	4	16	45
910	7810.21	2.24	3	18	55

Fuente: Departamentos de Productores Cañeros y Economía. GEA, Villa Clara.

ANEXO 4: EFICIENCIA TÉCNICA EN LA TRANSPORTACIÓN DE LA CAÑA DE LAS UBPC CAÑERAS. ZAFRA 2006-2007

UBPC	Score	RTS	Producción de caña(t)	Costo del tiro	Equipos(u)	Distancia(km)	Frec. UBPC referentes	UBPC Referentes
101	76.99	1	16838.71	2.05	2	4	0	2
102	69.03	1	25113.32	2.78	4.67	8	0	2
103	57.13	1	28996.57	4.25	8.17	20	0	2
104	100	0	29487.27	4.47	9	22	19	0
105	56.99	-1	21084.98	1.92	1	9.5	0	2
106	94.91	1	27310.42	3.43	6.08	15	0	3
107	86.42	1	25519.75	2.44	5.32	13.17	0	2
108	84.33	1	22673.92	1.97	1	10	0	1
109	77.01	1	23963.63	2.36	2	10	0	2
110	23.62	1	26543.05	3.15	4	10	0	1
201	74.02	1	24722.53	2.08	4	10	0	2
202	54.83	1	23351.75	2.66	3	8	0	3
203	100	0	24398.46	2.59	5	7	6	0
204	75.65	1	24374.09	2.23	4	9	0	4
205	48.86	1	23963.63	2.36	2	10	0	2
301	19.05	1	22673.92	1.97	1	10	0	1
302	32.9	1	22673.92	1.97	1	10	0	1
303	21.3	1	25253.34	2.76	3	10	0	2
304	23.71	1	25253.34	2.76	3	10	0	2
305	26.15	1	23963.63	2.36	2	10	0	2
306	72.05	1	22673.92	1.97	1	10	0	1
307	47.86	1	26543.05	3.15	4	10	0	1
308	14	1	25253.34	2.76	3	10	0	2
309	65.03	1	26516.13	2.97	6	14.8	0	3
310	26.13	1	23963.63	2.36	2	10	0	2
311	56.11	1	25050.68	2.2	4.89	12.13	0	2
401	55.01	1	26526.04	3.14	4	10	0	2
402	39.74	1	26703.29	3.08	6	14.8	0	3
403	41.9	1	23963.63	2.36	2	10	0	2
404	49.37	1	27024.67	3.21	6.72	16.52	0	2
405	81.11	1	27793.97	3.68	6.5	16	0	3
406	30.28	1	22673.92	1.97	1	10	0	1
501	100	0	6746.55	1.49	1	5	1	0
502	58.83	1	24263.14	1.81	4	10	0	2
503	37.59	1	21904.25	2.26	2	8	0	3
504	61.92	1	23963.63	2.36	2	10	0	2
505	73.29	1	23963.63	2.36	2	10	0	2
506	16.38	1	22673.92	1.97	1	10	0	1
601	100	0	26543.05	3.15	4	10	46	0
602	43.29	1	21904.25	2.26	2	8	0	3
603	69.95	1	22673.92	1.97	1	10	0	1
604	93.78	1	23963.63	2.36	2	10	0	2
605	65.61	1	25627.84	2.53	5	12.4	0	3
606	72.07	1	27122.39	3.26	6.81	16.74	0	2
607	52.89	1	26158.29	2.92	4	10	0	2
608	100	0	22673.92	1.97	1	10	35	0
701	81.46	1	19358.63	2.23	3	5	0	3

ANEXOS

702	100	0	16838.71	2.05	2	4	7	0
703	100	0	22400.96	2.61	3	7	3	0
704	61.78	1	19358.63	2.23	3	5	0	3
705	71.81	1	24971.1	2.59	3	10	0	3
706	81.15	1	25096.84	2.3	4	10	0	2
707	29.2	1	26036.18	2.77	5	12.4	0	3
708	52.76	1	26543.05	3.15	4	10	0	1
709	53.27	1	28309.58	3.94	7	17.2	0	2
710	26.21	1	22673.92	1.97	1	10	0	1
711	4.34	1	22673.92	1.97	1	10	0	1
801	46.69	1	25253.34	2.76	3	10	0	2
802	33.3	1	23963.63	2.36	2	10	0	2
803	52.87	1	25655.6	2.56	4.83	12	0	3
804	42.56	1	25167.95	2.26	5	12.39	0	2
805	27.64	1	28898.43	4.21	8	19.6	0	2
806	100	0	24093	1.71	4	10	26	0
807	68.34	1	22673.92	1.97	1	10	0	1
808	44.95	1	23926.59	2.34	2	10	0	3
809	31.12	1	25253.34	2.76	3	10	0	2
810	26	1	27131.89	3.41	5	12.4	0	2
811	25.88	1	25253.34	2.76	3	10	0	2
901	100	0	19478.73	1.61	5	5	5	0
902	65.26	1	26049.64	2.86	4	10	0	2
903	74.48	1	26543.05	3.15	4	10	0	1
904	33.55	1	25403.1	2.48	4	10	0	2
905	57.37	1	26992.53	3.25	6	14.8	0	3
906	58.54	1	25597.92	2.48	5.39	13.35	0	2
907	37.08	1	26173.18	2.83	5.25	13	0	3
908	73.58	1	22673.92	1.97	1	10	0	1
909	45.61	1	26543.05	3.15	4	10	0	1
910	32.04	1	24375.6	2.24	3	10	0	3

Fuente: Reportes de salida del programa *Frontier Analyst*.

ANEXO 5: CANTIDAD DE UBPC INEFICIENTES POR UBPC REFERENTES

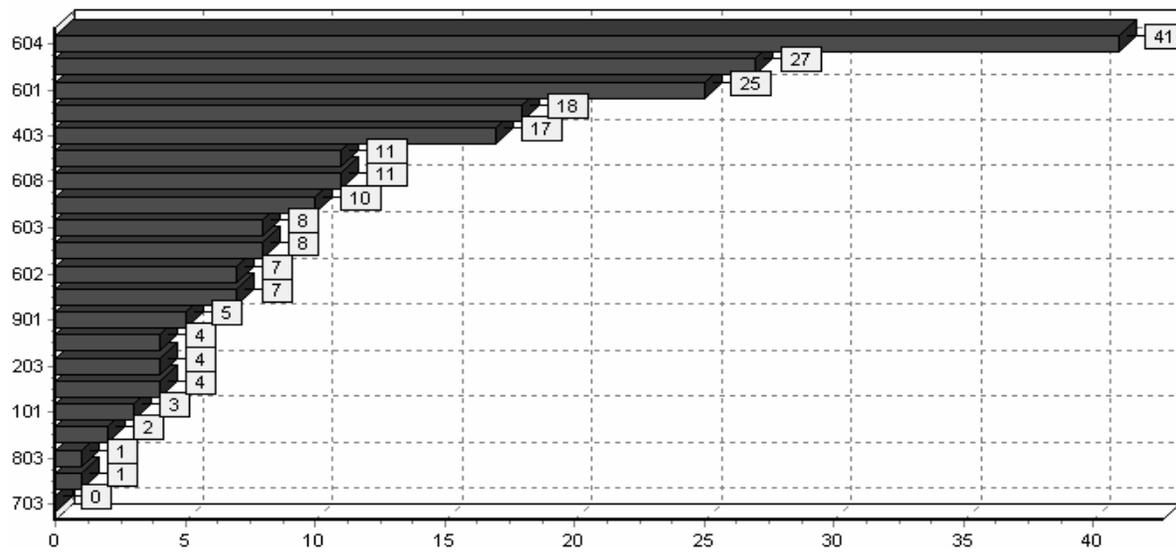


Figura 3.4: Referentes de las UBPC eficientes