

ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA TÉCNICA RELATIVA DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA: EL CASO DE MÉXICO

Pedro Luis Celso Arellano*, José Héctor Cortés Fregoso**

Analysis of the sugar agroindustry's relative technical efficiency: The case of Mexico

ABSTRACT

What are the most salient features of the Mexican sugar agroindustry's relative technical efficiency? This paper looks at a very preliminary approach to the relative technical efficiency (RTE) conditions prevailing in the sugar refineries of the country, with the support of an empirical production function. With this goal in mind, an RTE examination of the national sugar refineries is undertaken based upon data envelopment analysis (DEA), a non-parametric mathematical programming technique that allows for the RTE coefficients estimation for the decision making units (DMU) taken into account. The stance considered deals with an input oriented approach and the RTE indices are generated by a variable returns to scale (VRE) technology.

The sample used deals with 57 DMU's and, in order to fulfill a highly discriminatory power of the model, four inputs and two outputs are employed. The basic model has a DEA-BCC structure, whose inputs are the industrialized area, the net ground sugar cane, the sugar harvest span, and the production costs. The outputs accounted for are total sugar produced and net benefits.

Approximately, one fifth of DMUs are technically efficient, according to the final results. Such a conclusion allows for the setout of economic policies aimed at straightforwardly improving the RTE of inefficiency DMU's by means of an economic policy allowing for an optimum allocation of resources.

Key words: Convexity constraint, DEA, empirical production function, frontier efficiency analysis, input orientation, RTE, VRS.

RESUMEN

¿Cuáles son las características de la eficiencia técnica relativa (ETR) de la agroindustria azucarera en México? El presente trabajo ofrece una primera aproximación a las condiciones de ETR que prevalecen en los ingenios azucareros del país, con el apoyo de una función de producción empírica. Con este propósito, se lleva a cabo un examen de la ETR de la agroindustria azucarera nacional con base en el análisis de datos envolvente (ADE), técnica de programación matemática no paramétrica que facilita la obtención de las puntuaciones de la ETR de las unidades decisoras (UDE) consideradas en el estudio. El enfoque tomado en cuenta tiene una orientación a los insumos y se estiman los coeficientes de ETR con una tecnología de rendimientos variables a escala (RVE).

* Licenciado en Administración Agropecuaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y Maestro en Negocios y Estudios Económicos de la Universidad de Guadalajara. Profesor docente de tiempo completo del Departamento de Sistemas de Información y Métodos Cuantitativos. Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas (CUCEA) de la Universidad de Guadalajara. Correo electrónico: pcelso@ucea.udg.mx

** Licenciado en Economía de la Universidad de Guadalajara. Doctor en Economía de la Universidad de Texas en Austin. Profesor e investigador de tiempo completo del Departamento de Métodos Cuantitativos y de Economía. Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas (CUCEA) de la Universidad de Guadalajara. Correo electrónico: cortefregoso@hotmail.com

La muestra en que se fundamenta el análisis tiene 57 UDE y, con el interés puesto en una alta capacidad discriminadora del modelo, se emplean cuatro insumos y dos productos. El modelo básico lo constituye el ADE-BCC, alimentado por la superficie industrializada, la caña molida neta, la duración de la zafra y los costos de producción. Los productos considerados son el azúcar total producido y la utilidad neta.

Los resultados obtenidos apuntan hacia una quinta parte, aproximadamente, de UDE eficientes; tal conclusión lleva a la consideración de políticas económicas que incidan directamente sobre un mayor nivel de ETR con base en una asignación óptima de los insumos disponibles.

Palabras claves: ADE, análisis de frontera eficiente, ETR, función de producción empírica, orientación a insumos, RVE, restricción de convexidad.

I. Introducción

Uno de los componentes más importantes que forma parte del proceso de competitividad es sin duda la ETR, la cual se constituye en un aspecto primordial en el funcionamiento de los sectores de la economía nacional; el caso de la agroindustria azucarera mexicana no es la excepción. Se plantea como objetivo primordial de este documento el empleo del ADE para evaluar el desempeño, en términos de la ETR, de cada uno de los 57 ingenios azucareros que actualmente tienen operaciones productivas en el país. Una de las ventajas en la medición del desempeño eficiente de los mismos con base en el método ADE, gira en torno a la estimación de las puntuaciones de eficiencias relativas. En otras palabras, el coeficiente de ETR que se determina para cada UDE corresponde al que se obtiene al comparar cada una de ellas con las eficientes, o de mejores prácticas, que se ubican exactamente sobre la frontera de eficiencia y sirven de referente a las UDE ineficientes.

El documento está estructurado en seis secciones. Junto con la presente sección de corte introductorio, la segunda sección da un breve repaso a la escasa literatura sobre el tema de las mejores prácticas y ADE en el contexto de ingenios azucareros. La parte tercera presenta, de manera sucinta, el marco teórico que se utiliza en el estudio. Más adelante, en la sección cuarta, se discute la forma de aplicación del modelo ADE-BCC con orientación a los insumos, así como el origen de los datos empleados. La penúltima parte, la quinta, desarrolla el análisis e interpretación de los resultados obtenidos, tanto desde el punto de vista del desempeño eficiente de las UDE como de los procesos de mejora potencial, la comparación con el conjunto de referencia, la contribución del conjunto de referencia y las contribuciones de insumos y productos. Finalmente, en la sexta sección aparecen el resumen, las conclusiones y las recomendaciones que se han alcanzado. Las referencias bibliohemerográficas cierran la parte sustancial del trabajo. Algunos cuadros con información de interés se encuentran en los anexos.

II. Revisión sucinta de la literatura

Los estudios realizados con el sustento del ADE sobre la agroindustria azucarera mexicana son prácticamente nulos; algo semejante sucede en el contexto internacional. En el ámbito de los ingenios azucareros mexicanos, los trabajos más cercanos al estudio del desempeño eficiente del sector azucarero se sustentan más en explicar su productividad, concepto que en condiciones de RVE no es equivalente al de eficiencia o mejores prácticas.

La conclusión a la que llega el Instituto Mexicano para la Competitividad es clara y contundente: la productividad de la agroindustria azucarera es baja, trátase de los plantíos de caña de azúcar o de los propios ingenios¹. De igual forma, la investigación dada a conocer por el Colegio de Postgraduados de Chapingo, que analiza detalladamente la diversidad del equipo y la maquinaria de los ingenios azucareros, contrasta asimismo la existencia simultánea de viejos motores de vapor empleados por algunas fábricas del dulce para auxiliarse en el trabajo de equipos diferentes, filtros con prensas manuales, intercambiadores de calor fundidos en hierro dulce, etc., con la presencia e incorporación de equipo y maquinaria totalmente automatizados en áreas como los procesos de molienda y de cristalización. Una situación semejante se presenta con la capacidad de molienda de los ingenios azucareros, capacidad de molienda que va de las 2,000 a las 20,800 toneladas de caña de azúcar diariamente².

En un estudio sobre el impacto de la agroindustria azucarera nacional, el desarrollo regional y la competitividad, la autora Domínguez Ruvalcaba³ hace énfasis sobre ciertos factores que, según ella, en cada región cañera determinan la productividad y rentabilidad del cultivo, así como las condiciones necesarias para plantear alternativas de mejora en la competitividad de la agroindustria azucarera frente a la competencia internacional. De acuerdo con el análisis de Domínguez Ruvalcaba, los factores aludidos, ampliamente discutidos en el trabajo, tienen que ver con la superficie cultivada por productor, los costos de producción, la utilidad y la relación de costo y beneficio y, por último, el sistema de pago de la caña de azúcar⁴.

Dos estudios más de manufactura reciente, en el mismo sentido, tienen por autores a Gutiérrez y Reyes⁵ y a García Chávez. Los primeros, con base en los costos medios de producción, argumentan que la competitividad global de los diferentes productores de azúcar tiene una importancia crítica para sustentar decisiones de intervención gubernamental en las políticas sectoriales. Sin embargo, tales políticas sectoriales pueden generar grandes distorsiones y externalidades negativas, lo cual puede incentivar a producir a aquellos países que realmente no presentan ventajas competitivas en el sector agroindustrial azucarero.

La urgencia de mejorar sustancialmente la competitividad de los ingenios cañeros nacionales no se puede posponer. Un indicador más acerca de la precariedad económica del sector azucarero es evidente cuando se tratan de contrastar los costos en que incurren los ingenios azucareros con los niveles de precios internacionales del dulce o con la fructuosa derivada del maíz.

¹Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO). **Implicaciones competitivas de la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar**. 2005.

²Colegio de Postgraduados de Chapingo. **Azúcar**. Veracruz: Campus de Veracruz, 2003.

³Domínguez Ruvalcaba, Lisbely. *Desarrollo regional y competitividad: la agroindustria azucarera en México*. **Noesis. Desarrollo y política regional**, Vol. 15, Núm. 27, págs. 227-250, 2005.

⁴Algunos de estos factores mencionados por Domínguez Ruvalcaba, como la superficie industrializada y la utilidad neta, están considerados en el examen que se concreta en secciones posteriores, ya sea como variables de insumos o de productos. Asimismo, a partir de un examen detallado de la amplitud de variables que inciden en el funcionamiento de la agroindustria azucarera nacional, se llegó a la conclusión de que básicamente se generan dos productos comunes para todos los ingenios azucareros, a saber, el azúcar producido (AZPRO) y las utilidades netas (UTINE) generadas.

⁵Gutiérrez, Herberth y Adolfo Reyes. *El mercado mundial del azúcar*. **Revista de la Facultad de Ciencias Económicas** de la UNMSM, Año VIII, No. 23, 2003.

La aportación de García Chávez⁶ centra más la discusión en señalar la inversión en capital humano vía capacitación y en I+D. De esta forma, los campos cañeros y los ingenios azucareros, es decir, la agroindustria azucarera nacional, requiere de esfuerzos intensivos de capacitación y desarrollo tecnológico, con el fin de incrementar los niveles de productividad y competitividad que exige la competencia internacional y los sustitutos del azúcar. Según García Chávez, han sido pocos los ingenios azucareros que mejoraron su productividad y competitividad de manera apreciable después de su privatización; la prueba está en que la mayoría siguió funcionando con los mismos equipos y la misma maquinaria que tenían cuando el gobierno federal era el responsable de su gestión.

De esta manera, los trabajos hasta aquí comentados llegan a la conclusión de que es imprescindible buscar una solución alternativa que resuelva los diferentes problemas que tiene el sector agroindustrial azucarero, con el interés de lograr mayores niveles de competitividad de la economía nacional. Además, como se puede apreciar, ninguno de estos trabajos trata el tema de los ingenios azucareros desde una perspectiva de la ETR, ni tampoco se utilizan modelos ADE, sino que únicamente se habla de productividad.

Queda claro, entonces, que los análisis hasta este punto comentados no hacen uso de la metodología del ADE para realizar el desarrollo de sus trabajos, ni tampoco enfatizan las implicaciones propias del ADE, como los rendimientos a escala o la orientación del estudio. Aunque no abundan en el contexto internacional, vale la pena citar tres documentos cuyo objetivo es estudiar la agroindustria azucarera de dos países, las Filipinas y Kenya, por medio del método del ADE. Sin embargo, se antoja una precisión: el estudio sobre Kenya⁷, si bien se fundamenta en modelos ADE, tiene como propósito central la descomposición del índice de productividad total de los factores de Malmquist para diferentes regiones de Kenya, y toma en cuenta a pequeñas plantaciones productoras de caña de azúcar. Esto implica su exclusión de la presente recensión.

No obstante que son los mismos autores de los otros dos trabajos y éstos aparecieron en el mismo año, sus propósitos coinciden plenamente con el tema aquí discutido, pues aplican directamente el ADE para estimar las ineficiencias del uso de insumos en la producción de caña de azúcar para la región llamada Central Negros en las Filipinas. Padilla-Fernández y Nuthall^{8,9} hacen un asiduo examen de la problemática que implica la producción de caña de azúcar, la ETR y los objetivos que se plantean los productores.

Mediante el uso de modelos ADE con RVE, los autores estudian en el primer trabajo las eficiencias relativas de los productores individuales e identifican los factores importantes que influyen la eficiencia de la producción. Con un espectro de objetivos amplio, y por medio de una muestra de productores de caña de azúcar de la región de Central Negros, derivan medidas de eficiencia técnica pura, de escala, global, asignativa y económica, cuyas puntuaciones respectivas son 0.7580, 0.9884, 0.7298, 0.7941 y 0.6025.

⁶ García Chávez, Luis Ramiro. *La agroindustria azucarera de México: el impacto del Tratado de Libre Comercio de América del Norte*, Universidad Autónoma de Chapingo, marzo, 2004.

⁷ Mulwa, Richard, Ernst-August Nuppenau and Ali Emrouznejad. *Productivity Growth in Smallholder Sugarcane Farming in Kenya: A Malmquist TFP Decomposition*. 6 páginas. Descargado: Abril 11, 2008. URL <<http://www.tropentag.de/2005/abstracts/full/53.pdf>>.

⁸ Padilla-Fernández, M. Dina and Peter Nuthall. *Farmers' Goals and Efficiency in the Production of Sugar Cane: The Philippine Case*. **Farm and Horticultural Management Group, Lincoln University**. Research Report 07/2001, August 2001. 39 páginas. ISSN 1174-8796. Descargado: Abril 25, 2008. URL <<http://researcharchive.lincoln.ac.nz/dspace/bitstream/10182/92/1/fhmg01-07.pdf>>.

⁹ Padilla-Fernández, M. DINA and Peter Nuthall. *Input Use Inefficiencies in the Production of Sugar Cane in Central Negros Area, Philippines. An Application of Data Envelopment Analysis*. **Farm and Horticultural**

Una característica única del estudio se refiere a la incorporación de los valores y actitudes de los productores hacia la producción y su eficiencia. De esta manera, mediante la aplicación de un modelo de regresión por remuestreo, encuentran una asociación positiva con la eficiencia en la producción de factores como la experiencia, la exposición a la extensión, el trabajo no relacionado con la producción de caña, el objetivo de independencia, los aspectos instrumentales de la producción, la orientación al ocio, la actitud optimista y el reconocimiento del riesgo. Derivan ellos, con base en sus resultados, políticas claves para reducir o eliminar los coeficientes de ineficiencia como invertir en más capital humano vía educación y asesoría en extensión, para incidir en la importancia de los aspectos operativos e instrumentales de la producción de caña, para desarrollar la producción en grupos así como cooperativas de productores y molineros y para mejorar el acceso al crédito y a tecnologías modernas.

Con un enfoque metodológico muy similar al estudio anterior e índices iguales para los diferentes tipos de eficiencia, Padilla-Fernández y Nuthall encuentran que las diferencias que se dan en el empleo de los insumos entre la eficiencia técnica pura (ETP) y los productores ineficientes son estadísticamente diferentes para los insumos de superficie, semillas y mano de obra. Sin embargo, no existe variación significativa alguna en el uso de fertilizantes e insumos energéticos. En relación con la eficiencia técnica global (ETG) y las plantas ineficientes, el uso de semillas y de fertilizantes fue estadísticamente diferente. A pesar de los bajos montos de semillas, fertilizantes y energía, los mayores beneficios obtenidos por los productores económicamente eficientes se debe al precio más bajo pagado por cada insumo, con excepción de la mano de obra.

El recuento de los estudios sobre la temática de interés, proporciona una plataforma para fijar como propósito único determinar la ETR de los ingenios azucareros de México, a través del ADE para identificar las mejores prácticas y sugerir recomendaciones de política económica pertinentes encaminadas a mejorar la agroindustria azucarera del país.

III. ADE: marco de referencia analítico

Para analizar la ETR de los ingenios azucareros se utiliza como herramienta metodológica el ADE. Los modelos ADE han sido utilizados específicamente para medir la ETR, aunque inicialmente fueron desarrollados con el propósito de medir la ETR de organizaciones públicas o no lucrativas. En la actualidad los modelos ADE son empleados en diversos sectores de la economía, tanto para estimar puntuaciones de ETR de organizaciones lucrativas como no lucrativas.

Esta técnica permite construir, por medio de la información real de los insumos utilizados por cada ingenio azucarero y sus productos, niveles eficientes de producción para cada uno de éstos. El resultado de estos ejercicios facilita la identificación de los ingenios azucareros eficientes e ineficientes; éstos últimos son aquellos que, dada su utilización de insumos, se encuentran por debajo del nivel de producción que potencialmente podrían estar ejecutando.

El ADE, de manera general considera a los insumos y productos de la siguiente manera. Supóngase que se van a evaluar n UDE, cada una consume diferentes cantidades de los m insumos para producir s productos. La j -ésima UDE consume la cantidad x_{ij} del i -ésimo insumo y produce la cantidad y_{sj} del s -ésimo producto.

Para medir el desempeño de la UDE₀, que es la UDE evaluada, se resuelve un problema de optimización, que busca maximizar el cociente de sus productos entre sus insumos. Como se tienen múltiples insumos y múltiples productos se construye un producto virtual y un insumo virtual usando ponderaciones u_r y v_i para cada producto y cada insumo, respectivamente. Adicionalmente, como es usual en la medición del desempeño, ninguna UDE (incluida la UDE₀) puede tener una eficiencia mayor a la unidad (100%).

El modelo que se emplea es con orientación a los insumos y de RVE, también conocido como modelo ADE-BCC. Mediante este modelo es posible encontrar para cada ingenio azucarero la combinación óptima de insumos que máxima la relación producto virtual por insumo virtual. El análisis se realiza con el modelo ADE-BCC específicamente en la forma envolvente, orientado a los insumos. El modelo envolvente que corresponde al ADE-BCC se resuelve en un proceso en dos etapas, y puede escribirse como:

$$\begin{aligned} \text{Min}_{\theta, s^+, s^-} z_0 &= \theta - e(s^+ + Is^-) \\ \text{s. a. } & \quad | Y = y_0 + s^+ \\ & \quad | X = \theta x_0 - s^- \\ & \quad | \bar{1} = 1 \\ & \quad | \theta, s^+, s^- \geq 0 \end{aligned}$$

El modelo ADE-BCC, así denominado por haber sido desarrollado por Banker, Charnes y Cooper relaja el supuesto de RCE e introduce rendimientos variables a escala (RVE). Como una de las peculiaridades del modelo es la adición de la denominada restricción de

convexidad $\bar{1}^{\text{fi}} = 1$, la cual elimina la influencia de la escala de producción. La frontera de RCE es más restrictiva y produce, generalmente, un menor número de unidades así como puntuaciones menores de ETR entre todas las unidades. Además, debe observarse que la ETR de los insumos y los productos bajo RVE no son necesariamente iguales. Cuando se calculan los índices de ETR con base en un modelo ADE con RCE, los conceptos de productividad y eficiencia son equivalentes. Asimismo, cuando se trabaja con RVE en lugar de RCE, el concepto de eficiencia corresponde al de ETP.

Bajo los supuestos del modelo ADE-BCC, la UDE evaluada es calificada como eficiente fuerte, según la condición de Pareto-Koopmans, si y sólo si en la solución óptima $\theta^* = 1$ y las variables de holgura de los productos y los insumos son todas nulas, es decir, $s^{+*} = 0$ y $s^{-*} = 0$, respectivamente. Las UDE ineficientes están caracterizadas por $\theta^* < 1$. Puede darse el caso de UDE identificadas como eficientes pero débiles que no cumplen con la condición de Pareto-Koopmans, aunque sí cumplen con la condición de Debreu-Farrell.

IV. ADE: el modelo aplicado

El ADE puede considerarse como una extensión de los trabajos pioneros del economista Farrell de finales del decenio de los cincuenta. ADE es una técnica no paramétrica de programación matemática que permite la construcción de una superficie envolvente, frontera eficiente o función de producción empírica, a partir del conjunto de las UDE objeto de estudio, de forma que las UDE que determinan la envolvente eficiente son denominadas unidades eficientes y aquellas que no permanecen sobre la misma son consideradas unidades ineficientes. Las entidades que son evaluadas con ADE se conocen como UDE, término que permite referirse a un grupo amplio de unidades organizacionales que pueden ser divisiones de una organización, empresas, entes territoriales, universidades, individuos, maestros, discentes e incluso países, en fin, cualquier concepto de UDE que se preste a la aplicación del ADE.

El concepto de ETP al que se hace referencia en el ADE, se refiere a la capacidad que tiene una unidad para obtener el máximo producto a partir de un conjunto dado de insumos; se obtiene al comparar el valor observado de cada unidad con el valor óptimo que viene definido por la frontera de producción estimada eficiente. La metodología ADE estima la ETR. Esto es, la puntuación de ETP que se les da a las unidades analizadas corresponde a la eficiencia que se determina al comparar las cantidades tanto de insumos como de productos que se emplean y producen respectivamente, en relación con todas las unidades que están siendo analizadas. A este respecto, Farrell comenta que “es mejor comparar el rendimiento con lo mejor alcanzado que con algo ideal inalcanzable”.¹⁰

Por otra parte, la metodología ADE es generosa con respecto a las medidas de las variables, ya que los insumos y productos pueden venir indicados en distintas magnitudes: unidades físicas, unidades monetarias, sin relación a priori entre ellas. Con el interés puesto en la estimación de las puntuaciones eficientes del desempeño de las UDE consideradas, y con la intención de aprovechar una alta capacidad discriminadora del modelo utilizado, en el trabajo se emplean cuatro variables para insumos y dos para productos. La adición de ambos tipos de variables queda muy por debajo de la tercera parte del tamaño muestral, o sea, $6 < 19$. El trabajo contempla, entonces, combinaciones de variables tanto para los insumos como para los productos.

Como se apunta en el párrafo anterior, para realizar este trabajo se emplearon seis variables, cuatro insumos y dos productos. Las variables de los insumos son 1) a superficie industrializada medida en hectáreas (SUPIN), 2) la caña molida neta considerada en toneladas (CAMOL), 3) la duración de la zafra medida en días (DURZA) y 4) los costos de producción en millones de pesos (COPRO). Las variables de los productos están consideradas por 1) el azúcar total producido medido en toneladas (AZPRO) y 2) la utilidad neta obtenida proporcionada en millones de pesos (UTINE). Tanto las variables de los insumos como de los productos están medidas con base en la producción de la zafra correspondiente a 2005-2006, dada a conocer por el Comité de la Agroindustria Azucarera (COAAZUCAR).

Para tener mejor idea de la naturaleza de los datos empleados en el modelo ADE-BCC, se presentan algunos estadísticos descriptivos de las variables para insumos y productos en el cuadro No. 1 siguiente.

¹⁰ Coll Serrano, V. y Blasco B., O. Ma. **Evaluación de la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos**. Valencia: Universidad de Valencia, 2006. Descargado: Abril 30, 2008. URL <<http://www.eumed.net/libros/2006c/197/index.htm>>.

Cuadro No. 1
Estadísticas descriptivas de las variables de insumos y productos: 2005-2006

VARIABLES	Nombres de variables	Media	Mediana	Desviación Típica	Valor mínimo	Valor máximo
Insumos	SUPIN	11,653	11,108	7,046	1,145	41,934
	CAMOL	1'001,077	770,913	1'774,885	80,477	2'265,560
	DURZA	160.05	164.00	32.32	63.00	216.00
	CORPO	194.70	186.10	113.70	17.40	618.10
Productos	AZPRO	92,668	87,604	51,582	7,846	234,300
	UTINE	114.18	103.68	71.04	9.92	286.10

Se puede observar fácilmente que las cantidades empleadas por los diferentes ingenios azucareros del país, tanto de insumos como de productos, son variadas. Pueden apreciarse las diferencias en la escala de producción con los valores mostrados en el cuadro No. 1, ya que unos ingenios azucareros operan con cantidades pequeñas y otros procesan volúmenes grandes con respecto a las variables utilizadas de insumos y productos utilizados.

El ADE se lleva a cabo mediante el modelo propuesto por Banker, Charnes y Cooper conocido como modelo ADE-BCC, el cual facilita la identificación de las tecnologías empleadas por las UDE mediante los RVE. Para obtener los resultados se emplea el paquete informático *Frontier Analyst®* versión 4.0, que permite el cálculo de las puntuaciones de ETP de manera expedita. El modelo ADE-BCC considerado corresponde al modelo dual o envolvente, el que estima los registros de eficiencia con base en un proceso bietápico¹¹.

V. Análisis e interpretación de resultados

Una ventaja importante del modelo ADE hace referencia a la abundante información que se genera a consecuencia de su aplicación. Después de llevar a cabo los procesos para la obtención de las ETP con un modelo ADE-BCC, se cuenta con una amplia gama de resultados de los que se puntualizan los más significativos. En primer término, se puede estructurar una jerarquización de los ingenios azucareros de acuerdo con su puntuación de ETP.

Los resultados del cuadro No. 2 sugieren que un pequeño número de UDE alcanzan la ETP. Es decir, sólo diez ingenios azucareros son eficientes al cien por ciento y sus holguras son iguales a cero, lo cual significa que se cumple también con la condición de Pareto-Koopmans. Dichas plantas productoras son la de Atencingo, Independencia, José María Morelos, La Concepción, La Gloria, La Primavera, Plan de San Luis, Pujitic, San Cristóbal y Tres Valles.

En un rango intermedio, considerados como potencialmente factibles de alcanzar la ETP, se clasifican cuarenta y tres ingenios con una puntuación de ETP entre 81 y 99.9 por ciento. De éstos, veinte se ubican con una ETP de entre 81 y 90 por ciento, y veintitrés entre 91 y 99.9 por ciento de ETP, siendo estos los más próximos a alcanzar la eficiencia al cien por ciento. Por otra parte, en cuanto a los ingenios más rezagados en eficiencia, entre los que encontramos únicamente a cuatro de ellos, se tienen a Huixtla, Nuevo San Francisco, San Pedro y Presidente Benito Juárez. Estos están con una puntuación de eficiencia de entre 71 y 80 por ciento, siendo la clasificación la más baja.

Los resultados generales del modelo ADE-BCC se presentan en los cuadros No. 2 y 3. Se indican a continuación aspectos importantes sobre los resultados presentados en cada uno de ellos.

¹¹ El proceso bietápico consiste en que una vez que se obtienen los valores de las puntuaciones ETR, el programa informático estima también el valor nulo de las variables de holgura; el propósito consiste en lograr el cumplimiento de la condición más restrictiva de Pareto-Koopmans.

1. La puntuación de ETR alcanzada por cada ingenio azucarero (tercera columna del cuadro No. 2).
2. En las columnas cuatro a nueve se aprecian las holguras de las variables de insumos y productos, base para el análisis de la mejora potencial para cada uno de las UDE analizadas.

La columna cuatro del cuadro No. 3 muestra a los conjuntos de referencia que corresponde a cada ingenio azucarero ineficiente; es decir, la cantidad de UDE ineficientes que ha sido comparada con la unidad de referencia. Por último, en la columna cinco del mismo cuadro No. 3 se presentan las UDE de los pares que tiene cada una de las unidades analizadas. A guisa de ejemplo, se puede considerar el ingenio azucarero ineficiente de Huixtla que opera con una eficiencia del 77.98%. Sus mejoras potenciales para alcanzar una eficiencia del 100% consisten en disminuir 44% la superficie industrializada, 22% la caña molida, también 22% la duración de la zafra y en un 24.1% sus costos de producción. Por otra parte, estas disminuciones en los insumos tendrán que venir acompañadas de un incremento en la generación de utilidad neta de un 53.6%.

VI. Resumen, conclusiones y recomendaciones

En general, las puntuaciones de ETP encontradas para los cincuenta y siete ingenios azucareros estudiados no son tan bajas: el número de ingenios eficientes es casi del 17.5%. Por otra parte, la proporción de los ingenios que potencialmente pueden llegar a ser técnicamente eficientes es amplia, ya que hablamos del 75.4% de estos. Además, la proporción de UDE que se encuentra en una situación crítica en cuanto a los niveles de ETP apenas llega al 7%.

La ETP promedio es del 96.6%, la cual se considera que es una puntuación alta; no obstante, puede mejorarse. Con base en lo antes expuesto, se concluye que la agroindustria azucarera de México, en términos globales, presenta niveles de ETP muy aceptables. Sin embargo, de acuerdo con los indicadores de las variables de holgura, se tiene a un grupo de ingenios azucareros que requieren de políticas organizacionales con objetivos muy claros acerca de reducción o eliminación de insumos para poder incrementar las utilidades netas.

Por último, se concluye que los niveles de ETP de los ingenios azucareros del país no son bajos. La literatura revisada en torno a la productividad de la agroindustria azucarera nacional hace referencia o compara a la misma con la de otros países sólo en relación con el concepto de productividad. Es necesario que se dé un viraje al enfoque de los análisis respecto a la agroindustria azucarera mexicana, en donde los conceptos de eficiencia técnica global (ETG), de eficiencia técnica pura (ETP) y de eficiencia de escala (EE) sean considerados de forma puntual con el propósito de mejorar sustancialmente el desempeño de todos los ingenios azucareros del país.

REFERENCIAS BIBLIOHEMEROGRÁFICAS

1. Calvillo Morán, Fernando. *Evaluación de la Eficiencia de la Agroindustria Azucarera de México mediante el Análisis Envoltante de Datos*. Guadalajara: Trabajo inédito elaborado para el curso de Tópicos Selectos de Métodos Cuantitativos II. Diciembre 2007.
2. Colegio de Postgraduados de Chapingo. **Azúcar**. Veracruz: Campus de Veracruz, 2003.
3. Coll Serrano, V. y Blasco B., O. Ma. **Evaluación de la eficiencia mediante el análisis envoltante de datos**. Valencia: Universidad de Valencia, 2006. Descargado: Abril 30, 2008. URL
<<http://www.eumed.net/libros/2006c/197/index.htm>>.
4. Domínguez Ruvalcaba, Lisbely. *Desarrollo regional y competitividad: la agroindustria azucarera en México*. **Noesis. Desarrollo y política regional**, Vol. 15, Núm. 27, págs. 227-250, 2005.
5. García Chávez, Luis Ramiro. *La agroindustria azucarera de México: el impacto del Tratado de Libre Comercio de América del Norte*, Universidad Autónoma de Chapingo, Marzo, 2004.
6. Gutiérrez, Herberth y Adolfo Reyes. *El mercado mundial del azúcar*. **Revista de la Facultad de Ciencias Económicas** de la UNMSM, Año VIII, No. 23, 2003.
7. Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO). **Implicaciones competitivas de la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar**. 2005.
8. Mulwa, Richard, Ernst-August Nuppenau and Ali Emrouznejad. *Productivity Growth in Smallholder Sugarcane Farming in Kenya: A Malmquist TFP Decomposition*. 6 páginas. Descargado: Abril 11, 2008. URL.
<<http://www.tropentag.de/2005/abstracts/full/53.pdf>>.
10. Padilla-Fernández, M. Dina and Peter Nuthall. *Farmers` Goals and Efficiency in the Production of Sugar Cane: The Philippine Case*. **Farm and Horticultural Management Group, Lincoln University**. Research Report 07/2001, August 2001. 39 páginas. ISSN 1174-8796. Descargado: Abril 25, 2008. URL.
<<http://researcharchive.lincoln.ac.nz/dspace/bitstream/10182/92/1/fhmg01-07.pdf>>.
11. Padilla - Fernández, M. DINA and Peter Nuthall. *Input Use Inefficiencies in the Production of Sugar Cane in Central Negros Area, Philippines. An Application of Data Envelopment Analysis*. **Farm and Horticultural Management Group, Lincoln University**. Research Report 08/2001, August 2001. ISSN 1174-8796. 33 páginas. Descargado: Abril 25, 2008. URL.
<<http://dspace.lincoln.ac.nz/dspace/bitstream/10182/93/fhmg01-08.pdf>>.
12. Ray, Subhash C. **Data Envelopment Analysis. Theory and Techniques for Economics and Operations Research**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

*(Artículo recibido en octubre del 2008 y aceptado para su publicación en septiembre del 2009).

Cuadro No. 2
Resultados obtenidos del modelo ADE-BCC con datos de la zafra 2005/2006

No.	Ingenio azucarero	$\theta' \leq 1$ (%)	Mejora potencial (%)					
			SUPIN	CAMOL	DURZA	COPRO	AZPRO	UTINE
1.	Atencingo	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.	Independencia	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.	José María Morelos	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.	La Concepción	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.	La Gloria	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.	La Primavera	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.	Plan de San Luis	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.	Pujitíc	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9.	San Cristóbal	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.	Tres Valles	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11.	El Potrero	99.94	-23.1	-1.2	-0.1	-0.1	0.0	6.6
12.	Melchor Ocampo	99.21	-0.8	-2.9	-22.5	-0.8	0.0	5.7
13.	Pablo Machado	97.87	-9.4	-2.1	-17.6	-12.2	0.0	33.5
14.	San Miguel del Naranjo	97.07	-33.7	-2.9	-2.9	-4.6	0.0	13.6
15.	Alianza Popular	97.01	-50.7	-3.0	-32.8	-3.4	0.8	0.0
16.	Central Progreso	96.87	-3.1	-3.1	-16.3	-6.7	0.0	19.0
17.	El Molino	96.71	-3.3	-3.3	-12.2	-17.4	0.0	45.9
18.	Tula José María Martínez	96.47	-3.5	-8.8	-3.5	-14.8	0.0	28.3
19.	Casasano	96.38	-3.6	-9.4	-52.5	-9.0	0.0	2.6
20.	Adolfo López Mateos	96.33	-37.3	-3.7	-10.2	-20.7	0.0	5.5
21.	Tamazula	96.30	-3.7	-3.7	-19.4	-12.3	0.0	13.6
22.	Plan de Ayala	95.64	-17.9	-4.4	-8.2	-24.9	0.0	62.3
23.	Santa Clara	94.46	-5.5	-5.5	-20.8	-16.5	0.0	37.4
24.	Calpam	93.88	-6.1	-13.2	-24.9	-6.10	0.0	5.6
25.	Aarón Sáenz Garza	93.84	-6.2	-6.2	-22.2	-24.1	0.0	40.6
26.	Emiliano Zapata	93.67	-6.3	-6.3	-26.6	-18.4	0.0	3.7
27.	El Refugio	92.97	-7.0	-7.0	-28.6	-11.9	0.0	25.4
28.	Pedernales	92.97	-7.0	-11.2	-33.0	-7.0	0.0	3.5
29.	El Modelo	92.52	-7.5	-7.5	-15.6	-11.9	0.0	21.9
30.	Mahuixtlán	92.00	-8.0	-8.0	-48.9	-15.5	0.0	38.6
31.	Lázaro Cárdenas	91.62	-8.4	-8.4	-41.3	-20.6	0.0	57.9
32.	Zapotita-Pimuca	91.58	-13.5	-8.4	-26.6	-17.1	0.0	22.4
33.	Santa Rosalía	91.43	-25.8	-8.6	-10.2	-8.6	0.0	7.0
34.	San Nicolás	90.76	-9.2	-9.2	-35.1	-30.2	0.0	118.2
35.	La Providencia	90.56	-44.3	-9.4	-25.8	-9.4	0.0	9.0
36.	Bellavista	89.39	-10.6	-10.6	-12.4	-14.9	0.0	34.8
37.	San Francisco Ameca	88.88	-11.1	-11.1	-13.8	-21.1	0.0	39.8
38.	San Rafael de Puecú	88.42	-51.2	-18.9	-30.2	-11.6	0.0	19.7
39.	San Miguelito	88.41	-11.6	-11.6	-38.7	-18.9	0.0	23.1
40.	Motzorongo	88.31	-31.9	-11.7	-11.7	-18.2	0.0	38.1
41.	San José de Abajo	88.30	-11.7	-11.7	-34.7	-12.1	0.0	15.7
42.	Puga	87.39	-36.8	-12.6	-22.4	-31.8	0.0	80.4
43.	La Joya	87.13	-50.4	-12.9	-20.5	-24.0	0.0	14.7
44.	Quesería	86.88	-13.1	-13.1	-31.0	-16.7	0.0	43.7
45.	El Mante	86.83	-13.2	-13.2	-26.8	-22.0	0.0	31.9
46.	San Gabriel	86.51	-21.0	-13.5	-37.7	-13.5	0.0	33.8
47.	El Dorado	85.66	-14.3	-20.4	-39.5	-31.6	0.0	105.7
48.	El Carmen	85.54	-14.5	-14.5	-41.2	-24.4	0.0	53.5
49.	Azuremex-Tenosique	83.65	-16.4	-17.0	-24.0	-16.4	0.0	11.4
50.	Los Mochis	83.34	-41.0	-16.7	-16.7	-38.7	0.0	227.4
51.	El Higo	82.48	-17.5	-30.2	-30.2	-23.8	0.0	52.6
52.	Constancia	81.43	-56.0	-23.3	-23.3	-18.6	0.0	40.2
53.	Cuatotolapam	81.43	-48.7	-23.3	-23.3	-18.6	0.0	40.2
54.	Huixtla	77.98	-44.0	-22.0	-22.0	-24.1	0.0	53.6
55.	Nuevo San Francisco	77.01	-29.5	-23.0	-23.0	-24.4	0.0	61.8
56.	San Pedro	76.12	-42.4	-23.9	-23.9	-25.2	0.0	57.6
57.	Presidente Benito Juárez	72.18	-28.6	-27.8	-27.8	-30.9	0.0	30.3

Fuente: Elaboración propia de los autores con base en los resultados informáticos.

Cuadro No. 3. UDE referentes y pares

No.	Ingenio azucarero	% ≤ 1 (%)	No. de referencias	UDE pares
1.	Atencingo	100.00	46	0
2.	Independencia	100.00	2	0
3.	José María Morelos	100.00	8	0
4.	La Concepción	100.00	40	0
5.	La Gloria	100.00	2	0
6.	La Primavera	100.00	3	0
7.	Plan de San Luis	100.00	35	0
8.	Pujitlic	100.00	1	0
9.	San Cristóbal	100.00	3	0
10.	Tres Valles	100.00	1	0
11.	El Potrero	99.94	0	3
12.	Melchor Ocampo	99.21	0	3
13.	Pablo Machado	97.87	0	2
14.	San Miguel del Naranjo	97.07	0	3
15.	Alianza Popular	97.01	0	2
16.	Central Progreso	96.87	0	3
17.	El Molino	96.71	0	3
18.	Tala (José María Martínez)	96.47	0	3
19.	Casasano	96.38	0	2
20.	Adolfo López Mateos	96.33	0	2
21.	Tamazula	96.30	0	3
22.	Plan de Ayala	95.64	0	2
23.	Santa Clara	94.46	0	3
24.	Calipam	93.88	0	3
25.	Aarón Sáenz Garza	93.84	0	3
26.	Emiliano Zapata	93.67	0	3
27.	El Refugio	92.97	0	3
28.	Federnales	92.97	0	3
29.	El Modelo	92.52	0	3
30.	Mahuixtlán	92.00	0	3
31.	Lázaro Cárdenas	91.62	0	3
32.	Zapoapita-Pánuca	91.58	0	2
33.	Santa Rosalía	91.43	0	3
34.	San Nicolás	90.76	0	3
35.	La Providencia	90.56	0	3
36.	Bellavista	89.39	0	3
37.	San Francisco Ameca	88.88	0	3
38.	San Rafael de Puecté	88.42	0	2
39.	San Miguelito	88.41	0	3
40.	Motzorongo	88.31	0	3
41.	San José de Abajo	88.30	0	3
42.	Puga	87.39	0	2
43.	La Joya	87.13	0	2
44.	Quesería	86.88	0	3
45.	El Mante	86.83	0	3
46.	San Gabriel	86.51	0	3
47.	El Dorado	85.66	0	2
48.	El Carmen	85.54	0	3
49.	Azuremex-Tenosique	83.65	0	3
50.	Los Mochis	83.34	0	3
51.	El Higo	82.48	0	3
52.	Constancia	81.43	0	3
53.	Cuatotlapam	81.43	0	3
54.	Huixtla	77.98	0	3
55.	Nuevo San Francisco	77.01	0	3
56.	San Pedro	76.12	0	3
57.	Presidente Benito Juárez	72.18	0	3

Fuente: Elaboración propia de los autores.