



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS RECURSOS NATURALES

ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA TÉCNICA Y CAMBIO
TECNOLÓGICO EN LA AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE
AZÚCAR EN MÉXICO

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y
DE LOS RECURSOS NATURALES

PRESENTA

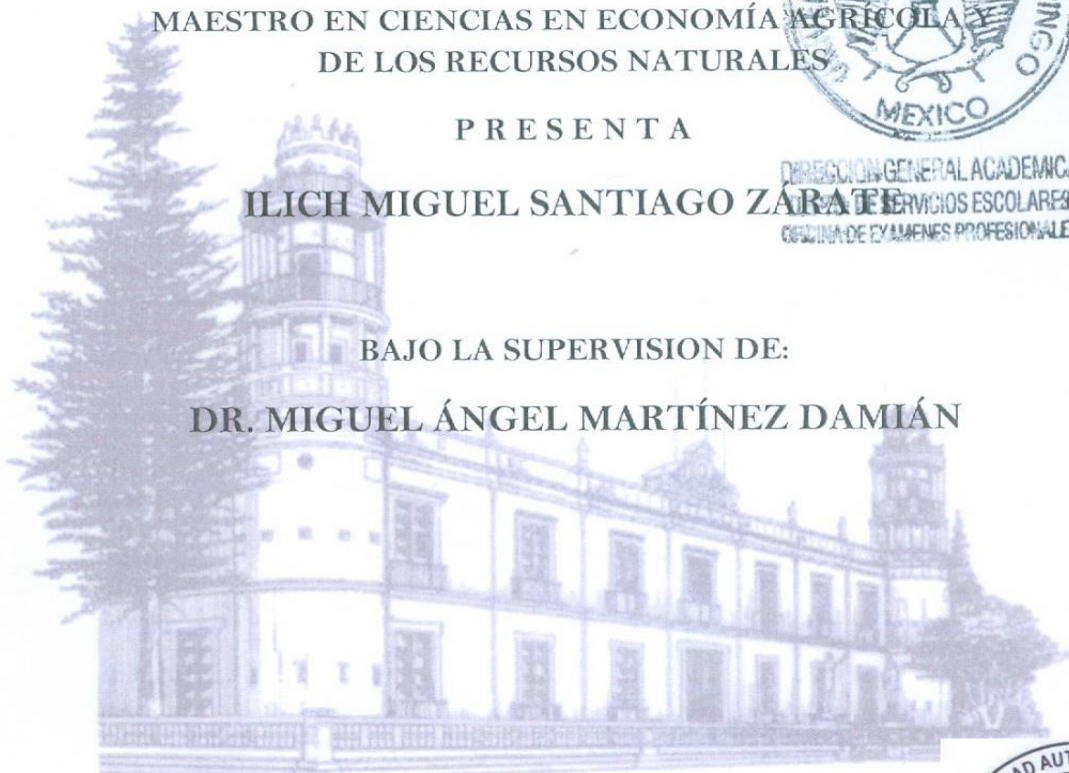
ILICH MIGUEL SANTIAGO ZARATE



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
ÁREA DE SERVICIOS ESCOLARES
COORDINACIÓN DE EXÁMENES PROFESIONALES

BAJO LA SUPERVISIÓN DE:

DR. MIGUEL ÁNGEL MARTÍNEZ DAMIÁN



CHAPINGO, EDO DE MÉXICO, JUNIO DE 2019



**ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA TÉCNICA Y CAMBIO
TECNOLÓGICO EN LA AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE
AZÚCAR EN MÉXICO**

El presente trabajo ha sido revisado y aprobado por el siguiente
Comité Directivo como requisito parcial para obtener el grado de:

**Maestro en Ciencias en Economía Agrícola y de
los Recursos Naturales**



Director: Dr. Miguel Ángel Martínez Damián



Codirector: Dr. Cristóbal Martín Cuevas Alvarado



Asesor: Dr. Juan Hernández Ortiz



Asesor: Dr. Fermín Sandoval Romero

Índice general

INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
<i>Objetivos generales</i>	2
<i>Objetivo específicos</i>	2
<i>Hipótesis</i>	2
ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN	3
1. MARCO TEÓRICO	4
1.1. ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD DE MALMQUIST UTILIZANDO EL ENFOQUE DE FRONTERA DE DATOS ENVOLVENTES.....	7
1.2. DATOS DE PANEL	9
1.3. DEFINICIÓN DE LAS FUNCIONES DE DISTANCIA	10
1.4. ESTIMACIÓN DE LAS FUNCIONES DE DISTANCIA MEDIANTE LA DEA.....	12
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	15
3. METODOLOGÍA.....	40
3.1. GEOGRAFÍA DE LA CAÑA DE AZÚCAR.....	40
3.2. FUENTES DE INFORMACIÓN	41
3.3. BASE DE DATOS DE PANEL BALANCEADOS	42
3.4. VARIABLES UTILIZADAS EN EL ESTUDIO	42
3.5. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES	43
3.5.1. <i>Azúcar producida por hectárea</i>	43
3.5.2. <i>Energía total consumida</i>	43
3.5.3. <i>Vehículos de acarreo</i>	44
3.5.4. <i>Caña molida neta</i>	44
3.5.5. <i>Cortadores</i>	44
3.5.6. <i>Frentes de corte</i>	44
3.5.7. <i>Tiempo de zafra perdido</i>	44
3.6. SOFTWARE UTILIZADO EN LA ESTIMACIÓN DE LOS ÍNDICES	44
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1. ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS	46
4.2. EFICIENCIA TÉCNICA	47
4.3. DESEMPEÑO DE LA AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR	52
4.4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	53
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
5.1. CONCLUSIONES	57
5.2. RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	60
ANEXOS.....	65
ANEXO A. DEFINICIÓN DEL KARBE.....	65
ANEXO B. OBTENCIÓN DE LA VARIABLE ENERGÍA TOTAL CONSUMIDA	68
B.1. <i>Energía eléctrica</i>	68
B.2. <i>Petróleo</i>	68

B.3. Bagazo	69
B.4. Energía consumida zafra 2006/07	70
ANEXO C. RESULTADOS DE LAS CORRIDAS EN EL DEAP 2.1	71

Índice de cuadros

Cuadro 1. Resultados del modelo de frontera estocástica de Johnson et al (1995)	30
Cuadro 2. Información obtenida por el CONADESUCA	41
Cuadro 3. Muestra del conjunto de datos de panel balanceado	42
Cuadro 4. Definición de las variables utilizadas	43
Cuadro 5. Estadísticas descriptivas de las variables utilizadas.	46
Cuadro 6. Medidas de cambio porcentual acumulativo en los componentes de la productividad total de los factores..	47
Cuadro 7. Cambios en la productividad total de los factores	50
Cuadro 8. Medidas de cambio porcentual acumulativo en los componentes de la productividad total de los factores entre periodos.	52
Cuadro 9. Cambios en la productividad de la caña de azúcar varios países	54
Cuadro 10. KARBE teórico bruto y neto	66
Cuadro 11. Energía eléctrica consumida por los ingenios azucareros a la CFE	68
Cuadro 12. Procedimiento de la conversión de petróleo a megajoules	69
Cuadro 13. Conversión de bagazo a megajoules	69
Cuadro 14. Fuentes de energía utilizadas en una unidad de energía	70

Índice de gráficos

Gráfico 1. Funciones de distancia	12
Gráfico 2. La función de distancia direccional	35
Gráfico 3. Comportamiento de cambio en la productividad total de los factores de la agroindustria de la caña de azúcar en México	51
Gráfico 4. Productividad total de los factores, la eficiencia técnica y el cambio tecnológico 2006/2007 – 2015/2016 ...	53

Índice de figuras

Figura 1. Localización de los ingenios cañeros de México	40
Figura 2. . Interfaz del DEAP 2.1 para cálculo del índice de Malmquist	45

Siglas y abreviaturas

CCR	=	Modelo de análisis envolvente de datos tipo Charnes-Cooper-Rhodes
CFE	=	Comisión federal de electricidad
CONADESUCA	=	Comité nacional para el desarrollo sustentable de la caña de azúcar
CSR	=	Retornos constantes a escala (constant scale return)
DEA	=	Análisis de datos envolventes (data envelopment analysis)
DOF	=	Diario oficial de la federación
KARBE	=	Kilos de azúcar recuperable base estándar
SAGARPA	=	Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación
SFA	=	Análisis de frontera estocástica (stochastic frontier analysis)
SIAP	=	Servicio de información agroalimentaria y pesquera
VRTS	=	Retornos variables a escala
FND	=	Financiera nacional de desarrollo
DMU's	=	Unidad de toma de decisiones
TFP	=	Productividad total de los factores
RESET	=	Prueba del error de especificación de la ecuación de regresión
SAS	=	Statistical analysis system
DEAP 2.1	=	Programa de análisis de datos envolventes
CRAN-R	=	Comprehensive R archive network .
TFP	=	Productividad total de los factores

DEDICATORIA

A mi madre Lourdes, por mostrarme el camino a seguir, por sus consejos, su apoyo, su cariño incondicional, por siempre estar ahí cuando se les necesita, por creer en mí y en que lo podía lograr. Pero sobre todo por ese gran amor que nos brinda, siempre estaré eternamente agradecido por todo lo que ha hecho por mí y por mis hermanos, por ser una excelente madre.

A mi padre Joel, por el cariño y consejos que me brindas, porque a pesar de todas las dificultades de la vida te has sabido reponer y apoyarnos en todo, porque me demuestras que con esfuerzo y perseverancia se logran alcanzar las metas, por ser un gran ejemplo.

A mi hermano Dahir, porque siempre has estado ahí para brindarme todo tu apoyo y consejos, por nunca dejarme solo y siempre alentándome a seguir.

A mis hermanos Lorena, Ángel y Joel, por su apoyo, cariño y consejos en muchos momentos en que se les necesitaba, por siempre animarme a seguir.

A mi tío Silvino por su motivación, apoyo y cariño.

A Adele, por ser una parte muy importante de mi vida en estos momentos, por apoyarme y darme palabras de aliento, por tu cariño y amor que me demuestras cada momento.

A mis amigos y compañeros, que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional, los cuales en estos dos años nos hemos convertido en grandes amigos, en los cuales sé que podría contar con ellos, Jesdel, Fernando, Salvador, Iván, Cristian, Brenda.

Ilich Miguel Santiago Zárate

“Si vas a intentarlo, ve hasta el final. De otra forma ni siquiera comiences”. Charles Bukowski.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para realizar y culminar mi estudio de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo, mi casa de estudios, mi alma mater, por haberme abierto las puertas y permitido formarme en ella como un profesionista, le estaré inmensamente agradecido.

A la División de Ciencias Económico Administrativas, por haberme dado la oportunidad de haber logrado una meta más en la vida, la de lograr un posgrado, sin duda siempre le estaré agradecido. Así como a los diferentes profesores que me brindaron sus conocimientos y apoyo para seguir adelante.

A mis padres por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, su cariño y amor que siempre me han demostrado.

A mis hermanos por todo su apoyo que siempre me han brindado, por ser parte importante en mi vida.

A mi director de tesis Dr. Miguel Ángel Martínez Damián por su voluntad, paciencia, y conocimientos brindados para poder culminar este trabajo.

A mi codirector Dr. Cristóbal Cuevas Alvarado por sus valiosos aportes para culminar esta tesis, así como a todos los miembros del jurado por su voluntad para culminar este trabajo.

A los profesores por sus grandes enseñanzas y aportes en mi formación como profesional.

A las secretarías por su paciencia y apoyo para la realización de trámites.

A mis compañeros y amigos por ser parte importante en mi crecimiento como persona y como profesional, muchos de los cuales se quedarán como grandes amigos.

Ilich Miguel Santiago Zárate

Tal vez el elemento más importante en el dominio de las técnicas y tácticas de una carrera es la experiencia. Pero una vez que tienes los fundamentos, la adquisición de la experiencia es una cuestión de tiempo." Greg LeMond

DATOS BIOGRÁFICOS



Nombre: Ilich Miguel Santiago Zárate

Fecha de Nacimiento: 16 de septiembre de 1990

Lugar de Nacimiento: San Pedro el Alto, Zimatlán de Álvarez, Oaxaca

CURP: SAZI900916HOCNRL00

Cédula profesional: 11098750

Nació en una pequeña comunidad del estado de Oaxaca, llamada San Pedro el Alto, perteneciente al municipio de Zimatlán de Álvarez, un 16 de septiembre de 1990, es el menor de 5 hermanos.

Asistió de 1996 a 2002 a la escuela primaria Mártires de Chicago que se encuentra en la misma comunidad, San Pedro el Alto.

Al culminar sus estudios de educación primaria en 2002, acudió a la escuela telesecundaria que se ubica en la Colonia Las Juntas, en la comunidad de San Pedro el Alto.

En el año 2007 ingresó al Instituto de Estudios de Bachillerato del estado de Oaxaca (IEBO), plantel 17, que se ubica en la colona las juntas, San Pedro el Alto.

En junio de 2011 ingresa a la Universidad Autónoma Chapingo, para cursar el propedéutico.

En el año 2012 ingresa a la División de Ciencias Económico Administrativas (DICEA), para cursar la carrera de ingeniero en economía agrícola.

De enero a abril de 2016 realizó sus prácticas profesionales en la Financiera Nacional de Desarrollo (FND), en la ciudad de Córdoba, Veracruz, apoyando en el seguimiento de los créditos y comprobaciones de los mismos.

En noviembre de 2016 obtiene el grado de ingeniero en economía agrícola, al presentar la tesis titulada “Análisis de la Rentabilidad y Eficiencia de la Producción de Maíz Grano de Temporal en los Principales DDRs de Oaxaca, 2015”.

Actualmente pertenece al posgrado de la División de Ciencias Económico Administrativas (DICEA), cursando la maestría en ciencias en economía agrícola y de los recursos naturales, en la Universidad Autónoma Chapingo.

ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA TÉCNICA Y CAMBIO TECNOLÓGICO EN LA AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN MÉXICO.

Ilich Miguel Santiago Zárate ¹, Miguel Ángel Martínez Damián ²

Resumen

La agroindustria de la caña de azúcar en México es importante por su impacto en el empleo y eslabonamientos en las economías locales y la economía nacional. El objetivo de la presente investigación fue analizar la productividad total de los factores, la eficiencia técnica y el cambio tecnológico de los ingenios cañeros en el periodo de zafras 2006/07 - 2015/16 utilizando datos de panel. La metodología utilizada fue la del análisis de datos envolventes utilizando bajo los supuestos orientación al insumo y retornos constantes a escala. El software utilizado fue el DEAP 2.1. Los resultados muestran que la agroindustria nacional se encuentra en la frontera eficiente con índice de la productividad total de los factores de 1.007, un índice de eficiencia técnica de 0.961 y un índice de cambio tecnológico de 1.048. A nivel de unidades de toma de decisiones destaca el caso del ingenio El Dorado, cuyo cambio porcentual acumulativo en su eficiencia técnica fue de 4.6%, en el progreso técnico e innovación del 22.5% y una productividad total de los factores de 28.1%. Una situación distinta ocurre con el ingenio Pánuco cuyo cambio porcentual acumulativo de su eficiencia técnica decreció en -6.9%, del progreso tecnológico e innovación en 1.8% y su productividad total de los factores de -5.2%. La conclusión general es que para 24 ingenios azucareros que operaron en el periodo de estudio la productividad total de los factores creció a tasas negativas y para 25 creció a tasas positivas.

Palabras clave: análisis de datos envolventes, frontera eficiente, índice de Malmquist, productividad total de los factores.

¹ Alumno de Posgrado MCEARN – DICEA – UACH.

² Profesor investigador Posgrado COLPOS-DICEA – UACH

ANALYSIS OF THE TECHNICAL EFFICIENCY AND TECHNOLOGICAL CHANGE AT THE SUGARCANE AGROINDUSTRY IN MEXICO.

Ilich Miguel Santiago Zárate ¹, Miguel Ángel Martínez Damián ²

Summary

The sugarcane agroindustry in Mexico is important for its impact on employment and the its linkages in local economies and the national economy. The objective of the present research was to analyze the total factor productivity, the technical efficiency and the technical change from the sugar mills in the period 2006/07 – 2015/16 using a panel data set. The methodology used was the data envelopment analysis and the assumptions were input oriented and constant returns to scale. The data set was run in the software DEAP 2.1. The results shows that the Mexican sugarcane agroindustry is on the efficient frontier with an index of the total factor productivity of 1.007, an index of the technical efficiency of 0.961 and a index of technological change of 1.048. At level of Decision Making Units stand out the case of the sugarcane mill named El Dorado whose accumulative percentage change of its technical efficiency was 4.6%, the technical progress and innovation of 22.5% and a total factor productivity of 28.1%. A different situation occurred with the sugarcane mill called Pánuco whose accumulative percentage change of technical efficiency grew -6.9%, the technical progress and innovation 1.8% and a total factor productivity of -5.2%. The whole conclusion is that 24 sugarcane mills that work in the study period the productivity grew at negative rates and for 25 it grew at positive rates.

Keywords: data envelopment analysis, efficient frontier, index of Malmquist, total factor productivity.

¹ Alumno de Posgrado MCEARN – DICEA – UACH.

² Profesor investigador Posgrado COLPOS-DICEA – UACH

Introducción

De acuerdo con el CONADESUCA (2017) en la zafra 2016/2017 se cosecharon 777,078 hectáreas y se levantaron 53'308,643 toneladas de caña molida bruta. Se tuvo una oferta de 5'970,373 toneladas de azúcar base estándar. El rendimiento en fábrica fue de 13.194% y en campo de 68.6 toneladas por hectárea. El valor aproximado de la caña de azúcar, así como el del azúcar, alcanzaron los 42 mil 948 millones de pesos y 71 mil 486 millones de pesos en la zafra 2016/2017 respectivamente. Esta derrama económica tiene impacto directo en 267 municipios de 15 estados del país, donde habitan 15 millones de mexicanos. La agroindustria de la caña de azúcar del país tiene capacidad instalada para industrializar más de 53 millones de toneladas, producir más de seis millones de toneladas de azúcar que garantizan el abasto nacional y dan cumplimiento a los compromisos internacionales. En términos macroeconómicos, la caña de azúcar contribuyó en 2016 con el 0.3% del Producto Interno Bruto Agrícola (PIBA) y aproximadamente el 7% del valor de la producción agrícola. Este contexto muestra la importancia de la agroindustria de la caña de azúcar en el sector agropecuario en particular y en la economía en general (SIAP, 2016).

Por otro lado, si bien el cultivo de la caña de azúcar cuenta con una Ley y un Programa específico que regulan su funcionamiento y da directrices para la planeación, modernización y mejora de competitividad vía la investigación con un programa específico para la agroindustria, la operatividad, rentabilidad y contribución al impulso de la capacidad fabril para su molienda, presenta desafíos emanados de las crisis estructurales que ha sufrido la agroindustria en varios periodos del siglo XX e inicios del XXI y que llevaron a la expropiación varios ingenios por parte de la administración 2001/2006. El corolario de tal situación son infraestructura y tecnología productiva poco eficientes, elevados costos de producción y una escasa diversificación en el uso de los subproductos obtenidos en el ingenio azucarero y la destilería.

Planteamiento del problema

En el ámbito de la ingeniería y de la investigación de operaciones, el análisis de la productividad de una empresa o unidad productiva se hace en términos del cociente de producto total sobre la mano de obra utilizada en el proceso productivo o del producto total por hora. Estos cocientes son medidas simples de la productividad y aunque son los más comunes muchas otras medidas de productividad son utilizadas según el ámbito o sector

productivo. En la agroindustria de la caña de azúcar se utilizan como medidas de productividad las toneladas de azúcar base estándar obtenida por hectárea,

En el contexto anterior y bajo la persistente aseveración de que la agroindustria de la caña de azúcar padece un atraso tecnológico resulta de interés estimar cuantitativamente la eficiencia técnica y el cambio tecnológico en cada uno de los ingenios que operan en la actualidad durante un periodo de al menos 10 años. De esta manera será posible refutar o argumentar debidamente cual es la situación de cada uno de los ingenios, así como la evaluación global de la agroindustria en un horizonte de corto plazo.

Objetivos generales

- Determinar y evaluar la evolución de la productividad de la agroindustria de la caña en México en el periodo de zafras 2006/2007 - 2015/2016.
- Descomponer el índice de la productividad total de los factores en los índices de cambio en la eficiencia técnica y el de cambio tecnológico.

Objetivo específicos

1. Evaluar la eficiencia técnica de la agroindustria de la caña de azúcar en un periodo de 10 años.
2. Evaluar el cambio tecnológico e innovación de la agroindustria cañera en México.
3. Evaluar la productividad total de los factores de la agroindustria de la caña de azúcar en México a través del índice de Malmquist.

Hipótesis

- La mayoría de las unidades de toma de decisiones en la agroindustria de la caña de azúcar de México son eficientes por lo que los índices a nivel de ingenio azucarero y de toda la agroindustria de la caña de azúcar serán cercanos o iguales a la unidad.
- Los cambios acumulativos en el periodo de estudio de los índices de cambio de la eficiencia técnica, cambio tecnológico y cambio en la productividad de la

agroindustria de la caña de azúcar como un todo mostrarán estancamiento o retroceso en algunos periodos por lo que sus índices serán iguales o menores a cero.

Estructura de la investigación

La presente investigación se compone de un apartado introductorio, cinco capítulos y los Anexos respectivos. En la introducción se explica brevemente la importancia de la caña de azúcar en México y corta reseña de su problemática en cuanto a su productividad. También se hace el planteamiento del problema, se enuncian los objetivos e hipótesis. En el primer capítulo se expone el marco teórico del análisis de datos envolventes y del índice de Malmquist. En el segundo capítulo se hace una revisión de las principales investigaciones que han contribuido al desarrollo de la DEA a partir del 1978. Se revisan también algunos trabajos de la aplicación empírica de la metodología que resultaron de interés para la investigación. En el tercer capítulo se exponen los aspectos metodológicos de la investigación. En cuarto capítulo se exponen los resultados y discusión. En el quinto capítulo se exponen las conclusiones y recomendaciones del estudio. Finalmente, en los anexos se incluye información adicional que apoyo el desarrollo de capítulos de metodología y resultados. Se incluye también en los anexos la salida de las corridas del DEAP 2.1 que corresponden a la estimación de las funciones de distancia y los cuadros con los promedios geométricos para los ingenios azucareros como para la agroindustria de la caña de azúcar.

1. Marco teórico

La metodología de la productividad total de los factores, calculado a través del Índice de Malmquist, está basado en la metodología del análisis de datos envolventes (DEA).

Los modelos de la metodología del análisis envolvente de datos difieren según la forma de la frontera eficiente utilizado. Los dos modelos comúnmente utilizados son el llamado modelo CCR (Charnes, Cooper y Rodes, 1978) y el modelo BCC (Banker, Charnes y Cooper, 1984). Estas dos variantes de modelos de análisis envolvente de datos difieren porque el primero evalúa la escala y las ineficiencias simultáneamente, mientras el segundo evalúa exclusivamente la ineficiencia técnica. En este trabajo se utiliza el enfoque CCR el cual asume rendimientos constantes a escala de las unidades de toma de decisiones (DMU), la cual es una denominación convencional en el análisis envolvente de datos, comúnmente utilizada en la investigación de operaciones. En esta investigación, la unidad de toma de decisiones son los ingenios azucareros que operaron en el periodo de estudio.

El CCR asume, como se ha mencionado, retornos constantes a escala (CRS). Charnes *et al* (1978) definen a la eficiencia como el máximo de un cociente de productos insumos ponderados entre insumos ponderados, sujeto a que los cocientes similares para cada unidad de toma de decisiones sean menores o iguales a la unidad. De acuerdo a Huguenin (2012) en forma matemática estas ideas puede expresarse como sigue:

$$TE_K = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}}$$

Donde TE_k es la eficiencia técnica de la unidad de toma de decisiones k que usa m insumos para producir s productos; y además

$$\begin{aligned} y_{rk} &= \text{cantidad de producto } r \text{ producido por la firma } k \\ x_{ik} &= \text{cantidad de insumo } i \text{ consumido por la firma } k \end{aligned}$$

u_r	=	ponderador del producto r
v_i	=	ponderador del insumo i
n	=	número de firmas a ser evaluadas
s	=	número de productos
m	=	número de insumos

La eficiencia técnica de la unidad de toma de decisiones k es maximizada bajo dos restricciones. Primero, las ponderaciones aplicadas a los productos e insumos de la empresa k no pueden generar un puntaje de eficiencia mayor a 1 cuando se aplica a cada empresa en el conjunto de datos. Segundo, los ponderadores de los productos e insumos son estrictamente positivos. De esta manera para cada firma se debe resolver el siguiente problema de programación lineal:

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximizar } \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} \\
 & \text{Sujeto a } \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n \\
 & u_r, v_i > 0 \quad \forall r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m
 \end{aligned}$$

Este problema de programación lineal puede ser tratado siguiendo dos enfoques diferentes. En el primer caso las sumas ponderadas de los productos son maximizadas manteniendo los insumos constantes (modelo insumo orientado). En el segundo caso, las sumas ponderadas del insumos son minimizadas manteniendo los productos constantes (modelo producto orientado). De acuerdo con Zhu (2013) las ecuaciones del primal para cada modelo, expresadas en su forma multiplicativa, son las siguientes:

Modelo CRS producto orientado

$$\text{Min} \sum_{i=1}^m v_i x_{ik}$$

Sujeto a

$$\sum_i^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rk} = 1$$

$$u_r, v_i > 0 \quad \forall r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m$$

Modelo CRS insumo orientado

$$\text{Max} \sum_{r=1}^s u_r y_{rk}$$

Sujeto a

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1$$

$$u_r, v_i > 0 \quad \forall r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m$$

De acuerdo con Zhu (2013), utilizando el concepto de dualidad de la programación lineal, una forma equivalente, conocida como la forma envolvente, puede derivarse de este problema. A menudo es preferible resolver los calculos utilizando la forma envolvente porque contiene solo restricciones $s + m$ en lugar de $(n + 1)$ restricciones en la forma del multiplicativa.

Modelo CRS producto orientado
Ecuación dual

Maximizar ϕ_k

Sujeto a

$$\phi_k y_{rk} - \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \leq 0 \quad r = 1, \dots, s$$

$$x_{ik} - \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \geq 0 \quad i = 1, \dots, m$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, n$$

Modelo CRS insumo orientado
Ecuación dual

Minimizar θ_k

Sujeto a

$$y_{rk} - \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \leq 0 \quad r = 1, \dots, s$$

$$\theta_k x_{ik} - \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \geq 0 \quad i = 1, \dots, m$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, n$$

donde:

$1/\phi_k$ y θ_k representan la eficiencia técnica de la firma k .

λ_j representa el ponderador asociado de productos e insumos de la firma j .

Ahora bien, todas las empresas ubicadas en la envolvente de las secciones que se ubican paralelamente a los ejes deben ajustarse para los productos e insumos de holgura. Sin

embargo, la formulación anterior no integra el papel de las holguras en la medición de la eficiencia. Considerando las holguras de productos, s_r , y las holguras de los insumos, s_i , las ecuaciones precedentes llegan a ser:

Modelo CRS producto orientado
Ecuación dual con holguras

$$\text{Maximizar } \phi_k + \varepsilon \sum_{r=1}^s s_r + \varepsilon \sum_{i=1}^m s_i$$

Sujeto a

$$\phi_k y_{rk} - \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} + s_r = 0 \quad r = 1, \dots, s$$

$$x_{ik} - \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} - s_i = 0 \quad r = 1, \dots, m$$

$$\lambda_j, s_r, s_i \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, n; r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m$$

Modelo CRS insumo orientado
Ecuación dual con holguras

$$\text{Minimizar } \theta_k - \varepsilon \sum_{r=1}^s s_r - \varepsilon \sum_{i=1}^m s_i$$

Sujeto a

$$y_{rk} - \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} + s_r = 0 \quad r = 1, \dots, s$$

$$\theta_k x_{ik} - \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} - s_i = 0 \quad r = 1, \dots, m$$

$$\lambda_j, s_r, s_i \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, n; r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m$$

Aquí, ε es un valor no Arquimediano definido para ser más pequeño que cualquier número real positivo. ε es mas grande que 0. La firma k es eficiente solo si:

- El puntaje o score de eficiencia $TE_k = \frac{1}{\theta_k} = 1$ o $TE_k = \theta_k = 1$.
- Las holguras $s_r, s_i = 0, \forall r = 1, \dots, s$ y $i = 1, \dots, m$.

1.1. Índice de productividad de Malmquist utilizando el enfoque de frontera de datos envolventes

El índice de productividad de Malmquist (MPI) mide los cambios de productividad a través del tiempo y puede descomponerse en cambios en la eficiencia y cambios en la tecnología con un enfoque no paramétrico similar al análisis envolvente de datos. La descomposición de la productividad en cambios técnicos y, a partir de ello, la recuperación de la eficiencia, requiere el uso de una versión contemporánea de los datos y las variantes de tiempo de la tecnología en el período de estudio. El *MPI* puede expresarse en términos de función de distancia (E), como se muestra en las siguientes dos ecuaciones, utilizando las observaciones en el tiempo t y $t + 1$.

$$MPI_I^t = \frac{E_I^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{E_I^t(x^t, y^t)}$$

$$MPI_I^{t+1} = \frac{E_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{E_I^{t+1}(x^t, y^t)}$$

donde I denota la orientación del modelo del MPI .

La media geométrica de estas dos ecuaciones resulta en:

$$MPI_I^G = (MPI_I^t MPI_I^{t+1})^{1/2} = \left[\left(\frac{E_I^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{E_I^t(x^t, y^t)} \right) \left(\frac{E_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{E_I^{t+1}(x^t, y^t)} \right) \right]^{1/2}$$

La media geométrica del modelo MPI orientado al insumo puede ser descompuesta utilizando el concepto de cambio técnico orientado al insumo ($TECHCH$) y de cambio en la eficiencia orientado al insumo ($EFFCH$) como se muestra en la siguiente ecuación (Lee y Leem, 2010).

$$\begin{aligned} MPI_I^G &= (EFFCH_I)(TECHCH_I^G) = \\ &= \left(\frac{E_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{E_I^t(x^t, y^t)} \right) \left[\left(\frac{E_I^t(x^t, y^t)}{E_I^{t+1}(x^t, y^t)} \right) \left(\frac{E_I^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{E_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right) \right]^{1/2} \end{aligned}$$

El primer y segundo término representan el cambio de eficiencia y el cambio de tecnología respectivamente. El MPI dado por antepenúltima ecuación y la última ecuación se puede definir utilizando la función de distancia de tipo DEA. Es decir, los componentes de MPI pueden derivarse de la estimación de las funciones de distancia definidas en una tecnología de frontera. Fare *et al* (1994) proporcionaron la derivación formal de MPI y es el método más popular entre los diversos métodos que se han desarrollado para estimar una tecnología de producción (Coelli *et al*, 2005; Thanassoulis 2001). Al utilizar la frontera

generada con el método DEA ya sea utilizando escalas de retornos constantes o escalas de retornos variables para estimar las funciones de distancia en la última ecuación, la eficiencia técnica se puede descomponer en componentes de eficiencia de escala y eficiencia técnica pura. De acuerdo con Lee y Leem (2010) un cambio de eficiencia de escala (SECH) se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$SECH = \left[\frac{E_{vrs}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}) / E_{crs}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{E_{vrs}^{t+1}(x^t, y^t) / E_{crs}^{t+1}(x^t, y^t)} \cdot \frac{E_{vrs}^t(x^{t+1}, y^{t+1}) / E_{crs}^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{E_{vrs}^t(x^t, y^t) / E_{crs}^t(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

y un cambio de eficiencia pura (PECH) se obtiene como:

$$PECH = \frac{E_{vrs}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{E_{crs}^{t+1}(x^t, y^t)}.$$

1.2. Datos de panel

En la estimación de modelos econométricos por lo general se realiza a través de datos que tienen una estructura de corte transversal o de series de tiempo. Un conjunto de datos de corte transversal consta de una muestra de individuos, hogares, empresas o unidades de toma de decisiones, ciudades, etc. tomada en un momento de tiempo. Normalmente, se supone muestreo aleatorio. Los datos de corte transversal tienen mucho uso en economía como por ejemplo en la microeconomía aplicada como la economía laboral, la organización industrial, la economía urbana, la economía agrícola, etc.

Los conjuntos de datos constan de observaciones de una o más variables, hechas en el tiempo. Como ejemplos tenemos los precios de las acciones, el índice de precios al consumidor (IPC), el producto interno bruto (PIB), las cifras de ventas de coches, etc. En general estos datos son más difíciles de analizar que los datos de corte transversal, porque las observaciones por lo general son dependientes en el tiempo.

En la presente investigación se trabajó con datos de panel. Un conjunto de datos de panel consta de una serie temporal para cada miembro del corte transversal en el conjunto de datos. Un modelo de datos de panel es aquel que trabaja con los datos en ambas dimensiones y que cuenta con un número de observaciones que equivale al número de momentos de tiempo por el número de clases o identificadores transversales. También los

paneles de datos se diferencian por la disponibilidad de información principalmente en dos tipos. Los paneles balanceados son aquellos en que todas las observaciones de corte transversal y de series temporales están disponibles. La realidad es que en la práctica esta es la excepción más que la regla. Los paneles no balanceados que son aquellos en que los datos tienen la característica de que algunas observaciones de series temporales no están disponibles para algunas observaciones de corte transversal.

La modelación econométrica con datos de panel es un campo vasto y especializado. Existen autores con una larga tradición tanto en la aplicación como en desarrollos teóricos de los datos de panel, por ejemplo, Baltagi (2005). Si bien la presente investigación utiliza datos de panel es en contexto de la programación lineal y de números índice por lo que no se adentra en la complejidad de la especificación de los modelos de panel de datos de efectos fijos o de efectos aleatorios, así como las pruebas de contraste para verificar si se violan algunos de los supuestos de dichos modelos.

1.3. Definición de las funciones de distancia

Las herramientas básicas de los índices de productividad de Malmquist son las funciones de distancia de insumo y producto, definidas como el escalamiento radial de insumos y productos, respectivamente. Malmquist (1953) definió la función de distancia como la contracción radial a una curva de indiferencia, mientras que Shepard (1970) definió la función de distancia en términos de una función de producción. La definición que se realizará a continuación de la función de distancia del insumo directamente siguiendo a Fare y Grosskopf (2000), quienes citan a Sheppard (1970). En términos técnicos, los retornos constantes a escala (CRS) se definen como sigue:

Sea $x = (x_1, \dots, x_N) \in R_+^N$ denota un vector de insumos y sea $y = (y_1, \dots, y_M) \in R_+^M$ un vector de productos. La tecnología de producción T es definida como:

$$T = \{(x, y) : x \text{ puede producir } y\}$$

y tal conjunto consiste de todos los vectores de insumo-producto que son técnicamente factibles. En el caso de un solo producto, la producción es a menudo usada para representar la tecnología. Esta función es definida por:

$$F(x) = \max\{y : (x, y) \in T\}$$

y T puede ser recuperado de F como:

$$T = \{(x, y) : F(x) \geq y, x \in R_+^N\}$$

La función de distancia del insumo es definida sobre la tecnología T como:

$$D_i(y, x) = \sup \left\{ \lambda : \left(\frac{x}{\lambda}, y \right) \in T \right\}$$

es decir, la máxima contracción factible de x (Fare y Grosskopf, 2000). De ahí su definición, se sigue que la función de distancia del insumo es homogénea de grado +1 en los insumos, es decir:

$$D_i(y, \lambda x) = \lambda D_i(y, x) \forall \lambda > 0$$

Además, si los insumos son “débilmente desechables”, entonces ello es una caracterización de T , es decir:

$$T = \{(x, y) : D_i(y, x) \geq 1\}$$

Si la tecnología T exhibe rendimientos constantes a escala, es posible probar que el input y la función de distancia del producto son recíprocos (Fare y Grosskopf, (2000), quienes citan a Sheppard (1970). En términos técnicos, los retornos constantes a escala (CRS) se define como:

$$\lambda T = T \forall \lambda > 0$$

Bajo esta condición, se tiene:

$$D_0(x, y) = \frac{1}{D_1(y, x)}$$

es decir, las dos funciones de distancia son recíprocos. Es más, la función de distancia del producto es homogénea de grado (-1) y la función de distancia del insumo es homogénea de grado (-1) en producto (Fare and Grosskopf, 2000).

Como ejemplo ilustrativo de las dos funciones de distancia, asúmase que un insumo es usado para producir un producto. Dada la combinación observada de insumo-producto (x, y) ,

las dos funciones de distancia se ilustran como se puede ver en el gráfico 1, que es la misma de Fare *et al* (1998). La función de distancia del producto escala el punto observado hacia el norte (en la dirección del producto) hasta alcanzar la frontera de la tecnología. La función de distancia del insumo escala el punto observado hacia el oeste (en la dirección del insumo) hasta que se alcanza la frontera.

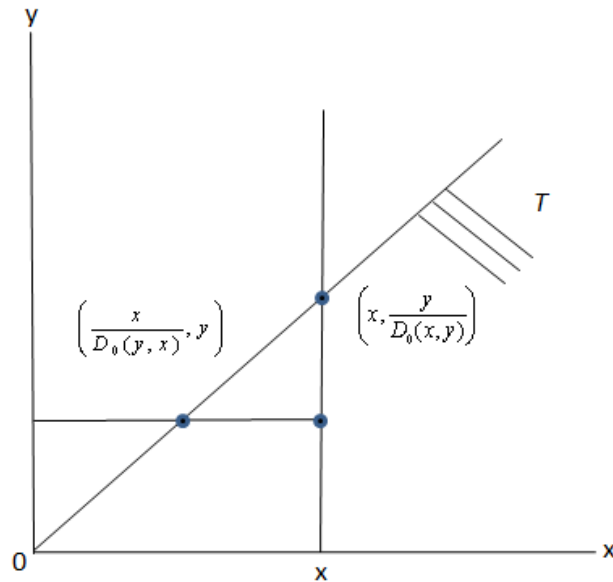


Gráfico 1. Funciones de distancia

Fuente: Fare *et al* (1998).

1.4. Estimación de las funciones de distancia mediante la DEA

En el apartado anterior se definió a las funciones de distancia de la manera como se hace en Farrel (1998). La exposición según se hace en Shepard (1970) es altamente técnica. La exposición que se hace a continuación ésta basada en Fare *et al* (2018) y se dice que por complitud también se muestra como las funciones de soporte de las funciones de distancia (ganancia, ingreso y costo), en su exposición también muestran cómo podrían ser estimadas con la DEA, como se muestra a continuación.

Así, para la formulación del modelo DEA, se asume que hay $k = 1, \dots, K$ observaciones, DMU's (Unidades de Toma de Decisiones) de insumos $x^k = (x_{k1}, \dots, x_{kN}) \in R_+^N$ y productos $y^k = (y_{k1}, \dots, y_{kN}) \in R_+^N$. La tecnología T puede ser obtenida a partir de los datos como sigue:

$$T = \{(x, y) : \sum_{k=1}^K z_k y_{km} \geq y_m, \quad m = 1, \dots, M,$$

$$\sum_{k=1}^K z_k x_{kn} \leq x_n, \quad n = 1, \dots, N,$$

$$z_k \geq 0, \quad k = 1, \dots, K\}$$

donde los datos deben satisfacer las condiciones:

$$i. \quad \sum_{k=1}^K x_{kn} > 0, \quad n=1, \dots, N,$$

$$ii. \quad \sum_{n=1}^N x_{kn} > 0, \quad k=1 \dots K,$$

$$iii. \quad \sum_{k=1}^K y_{km} > 0, \quad m=1, \dots, M,$$

$$iv. \quad \sum_{m=1}^M y_{km} > 0, \quad k=1, \dots, K$$

Estas condiciones pueden parafrasearse como sigue: (i) indica que cada input debe ser usado por al menos una DMU, y cada DMU o actividad debe usar al menos un insumo (ii). Las condiciones (iii) y (iv) significan lo mismo y la condición (ii) para producto.

La tecnología T de la penúltima expresión satisface la disposición fuerte de insumos, es decir:

$$si \quad (x, y) \in T \quad y \quad x' \geq x \quad entonces \quad (x', y) \in T$$

Y fuerte disposición de producto, es decir,

$$si \quad (x, y) \in T \quad y \quad y' \leq y \quad entonces \quad (x, y') \in T$$

Además, la tecnología T es convexa, o sea:

$$(x, y) \quad y \quad (x', y') \in T \quad implica \quad (\lambda x + (1-\lambda)x', \lambda y + (1-\lambda)y') \in T$$

Ello exhibe retornos constantes a escala, es decir, $\lambda T = T, \lambda > 0$, y es un conjunto cerrado.

Puesto que bajo retornos constantes a escala, la ganancia es cero, es posible que se desee relajar los retornos a escala restringiendo la intensidad de las variables z_k , $k = 1, \dots, K$. En el caso que:

$$\sum_{k=1}^K z_k = 1$$

se dice que la tecnología satisface rendimientos variables a escala y si

$$\sum_{k=1}^K z_k \leq 1$$

ello satisface retornos a escala no crecientes

2. Revisión de Literatura

De los dos procedimientos para analizar la eficiencia técnica y del cambio tecnológico a través del enfoque de frontera sea la vía econométrica o la no paramétrica existe una vasta bibliografía donde estas dos metodologías específicas han sido aplicadas. No obstante, todos ellos están basados en varios artículos conocidos, a partir de los cuales ambas metodologías, y sus posteriores desarrollos teóricos y aplicados, se han popularizado. En los párrafos siguientes se revisan los principales artículos principalmente aquellos relacionados con el análisis de datos envolventes y la metodología de la productividad total de los factores a partir del Índice de Malmquist.

Färe *et al* (1994), compara el crecimiento de la productividad, el progreso técnico y el cambio de eficiencia a una muestra de países industrializados para el periodo 1979 - 1988. La técnica utilizada permite descomponer el crecimiento de la productividad en cambios en la eficiencia técnica y cambios en la tecnología a lo largo del tiempo. La medida del crecimiento de la productividad es la media geométrica de dos índices de productividad de Malmquist. El índice de Malmquist es calculado directamente aprovechando el hecho de que las funciones de distancia en las que se basa el índice de Malmquist pueden calcularse explotando su relación con las medidas de eficiencia técnica desarrolladas por Farrell (1957) y no se requiere la presunción de una forma funcional; es decir, las funciones de distancia de los componentes del índice Malmquist se calculan utilizando métodos de programación no paramétricos.

Färe *et al* (1994) divide su investigación en tres secciones. La sección de mayor interés es la segunda sección donde se discute el índice de productividad de Malmquist, las funciones de distancia a partir de las cuales tal índice es construido y como los autores proponen calcularlo. Dada la importancia de dicha sección, esta se expone a continuación de forma breve

La segunda sección inicia mencionando que en el estudio se calculó el cambio de productividad como la media geométrica de dos índices de productividad de Malmquist. Se señala que el índice de productividad de Malmquist fue introducido en dos investigaciones por Caves *et al.* (1982a, b). Malmquist (1953) propuso construir índices de cantidad como cocientes de funciones de distancia. Las funciones de distancia son representaciones de

funciones de tecnología de salida múltiple, entrada múltiple que requieren datos solo en cantidades de entrada y salida. En consecuencia, el índice de Malmquist es un índice "primordial" de cambios en la productividad que, en contraste con el índice Törnqvist, no requiere costos ni participación en los ingresos para agregar insumos y productos, pero es capaz de medir el crecimiento total de la productividad de los factores en una producción múltiple.

Por otro lado, Raheman *et al.* (2009) estudian la dinámica de la eficiencia de 20 empresas de la industria azucarera de Pakistán para el periodo de 1998 a 2007 estimando la eficiencia a nivel de firma y el crecimiento de productividad total de los factores (TFP) y de esta manera evaluar sus variaciones entre unidades de tomas de decisiones y a través del tiempo para su uso en el desarrollo apropiado de respuestas de política hacia este sector en la economía pakistaní. En el estudio se utiliza el método no paramétrico de análisis envolvente de datos para calcular el índice de la PTF de Malmquist con un conjunto de datos de panel. El estudio también tiene como objetivo descomponer el crecimiento de la productividad total de los factores en el cambio técnico, cambio en la eficiencia y cambio en la eficiencia de escala con el propósito de conocer la fuente de la productividad para las empresas azucareras de Pakistán. La descomposición permite a los diseñadores de política trazar los rezagos de productividad a factores particulares. Por ejemplo, si la ralentización del progreso técnico causa la declinación de la productividad total de los factores la frontera de producción puede ser desplazada hacia arriba a través de la investigación y desarrollo. Si el lento crecimiento de productividad es rastreado se debe al deterioro de la eficiencia, entonces un proceso de aprender-haciendo y prácticas de management pueden ser echados a andar para dicho propósito. De acuerdo a los investigadores, por lo tanto, su trabajo también persigue el objetivo específico de proveer recomendaciones de política y estrategias para mejoras en la eficiencia de la producción de las empresas azucareras bajo la premisa de que los tomadores de política pueden recomendar políticas para mejorar la productividad de las firmas solamente si ellos entienden la fuente de la variación en el crecimiento de la productividad.

El estudio usa datos financieros de las empresas azucareras de diversos reportes y de diferentes fuentes. En la Tabla 1 de la investigación de Raheman *et al.* (2009) comparan los rendimientos de la caña de azúcar por tonelada, azúcar recuperada (en porcentaje) por tonelada de caña y el rendimiento de azúcar en toneladas por hectáreas. En dicho

comparativo de “productividad” el primer lugar es ocupado por Australia, México en sexto lugar y Pakistán en octavo.

En el apartado metodológico de la investigación se resalta que la investigación ha usado el índice DEA-Malmquist para estimar el crecimiento de la productividad total de los factores y que tal índice es la media geométrica del cambio en la eficiencia y del cambio técnico. Se señala que se utilizó el software DEAP desarrollado por Coelli (1996). Se señala que se utilizó el análisis orientado al producto porque la mayoría de las empresas y sectores tienen sus objetivos de maximizar la producción en forma de ingresos o ganancias. Respecto a las variables utilizadas se menciona que se ha aplicado el enfoque DEA a los ingresos de las empresas productoras al convertir las medidas de desempeño financiero en equivalentes de eficiencia técnica de las mismas.

En las conclusiones del estudio se señala que de acuerdo a las estimaciones empíricas muestran que la industria azucarera pakistaní como un todo, en el periodo de estudio, tuvo un progreso tecnológico de 0.8 por ciento mientras el cambio en la eficiencia del management declino por el mismo porcentaje por lo que el crecimiento de la productividad total de los factores en el periodo declino en 0.1 por ciento.

Bushara y Moneim (2016) presenta como objetivos: medir los cambios en el desempeño de la industria azucarera sudanesa, calcular el índice de productividad total de los factores para cada uno de los cuatro tipos de explotaciones azucareras de Sudán, así como determinar los niveles de eficiencia para el periodo.

En la parte introductoria del trabajo se menciona que la industria azucarera en Sudán se estableció en los años sesenta y que en el presente es la mayor contribución de divisas foráneas aporta a ese país, mejora la balanza comercial y satisfacer la demanda interna de esté edulcorante. También en la parte introductoria se dice que el índice de productividad de Malmquist permite la determinación de que parte del cambio en la productividad de la firma o sector es debido a cambio en la eficiencia técnica y que parte debido al cambio en la tecnología. Se resalta la propiedad técnica de que si todos los insumos cambian en una proporción y si el producto lo hace en la misma proporción entonces se tendrán rendimientos constantes a escala; si la producción cambia en una proporción menor a la que lo hicieron los insumos se tendrán retornos decrecientes a escala y si la producción cambia en una

proporción mayor a como lo hicieron los insumos entonces se tendrán rendimientos crecientes a escala. En el escrito se afirma que si se tienen rendimientos decrecientes a escala será debido a problemas de gestión en la empresa respectiva.

Respecto al método empleado se indica que el índice de Malmquist usa la función de distancia y que esta tiene la ventaja de que permite la descripción de una tecnología con múltiples insumos y múltiples productos sin la necesidad de especificar una función objetivo que refleje el comportamiento de los agentes de la producción tales como la minimización del costo o maximización del beneficio.

El progreso técnico en la agricultura esta invariablemente encarnado en nuevos insumos como irrigación, variedades de semillas de alto rendimiento, equipos y maquinaria agrícola moderna, fertilizantes, etc. El uso de insumos modernos impone la productividad marginal de la tierra, mano de obra y capital e inducen el mejor uso de estos insumos básicos, lo cual se refleja en la mayor intensidad del cultivo, en el progreso técnico, también se capturaría el efecto de la sincronización adecuada, la mejora de la calidad del trabajo, las mejores prácticas de manejo de la unidad productiva, una mayor utilización de los recursos, como el equipo terrestre, lo que conduce a una mayor intensidad de los cultivos, cambios en el patrón de cultivo a favor de cultivos de alto valor agregado. El primero representa nuevas entradas físicas, mientras que el segundo representa el conocimiento científico. Por lo tanto, el progreso técnico en la agricultura captura el crecimiento en la producción asociada con ambos (Saikia, 2009).

Bushara y Moneim (2016) también mencionan que el cambio técnico en la agricultura está influenciado por los precios y los factores no relacionados con el precio, como la inversión gubernamental en investigación agrícola, educación, extensión e infraestructura como caminos rurales, mercados regulados, etc. Saikia (2009) enfatiza que si bien el papel de los incentivos de precios para inducir cambios técnicos es obvio, el de los factores no relacionados con los precios surge de los cambios en los cambios estructurales en la agricultura. Estos cambios podrían ser desde: a) agricultura basada en conocimientos científicos modernos a anticuados; b) granjas aisladas hasta aquellas integradas con el resto de la economía y desde c) sistemas opresivos a sistemas igualitarios de tenencia de la tierra y estos cambios son facilitados por los instrumentos de políticas tales como el gasto gubernamental en investigación y desarrollo, insumos agrícolas y crédito; infraestructura

institucional para el acceso a los mercados de productos, insumos y créditos; y reformas agrarias, etc.

Una gran cantidad de estudios han encontrado que la contribución de la tecnología mejorada, como la medida por el índice de crecimiento de la productividad total de los factores, puede ser descompuesta en varios factores, viz. Investigación, extensión, educación, infraestructura, recursos naturales, etc. El crecimiento de los insumos es también influenciado por factores como precios de los insumos y producto, innovaciones tecnológicas, instituciones, infraestructura, iniciativas de política, etc. Las fuentes del crecimiento en la productividad total de los factores en la agricultura pueden ser explicados a través del análisis de la descomposición de dicho índice.

Como se ha mencionado, el crecimiento de la productividad total de los factores siempre se estima como un factor residual, después de explicar para el crecimiento de los insumos y su contribución el resto a menudo se interpreta como la contribución del progreso técnico. Esto implicaría que la mejora en la productividad surge solo del progreso técnico. Sin embargo, esta presunción se mantiene solo bajo el supuesto de la eficiencia técnica de la asignación de recursos.

Kumar y Arora (2012), en su trabajo, estudian las variaciones inter temporales y entre estados en los niveles de eficiencia técnica y eficiencia de escala de la industria azucarera de la India utilizando datos de corte longitudinal para 12 estados en un periodo de 31 años (de 1974/75 a 2004/05). Un segundo objetivo de este estudio fue identificar los determinantes de la eficiencia técnica de la referida industria utilizando la regresión Tobit con datos de panel. Los autores, a partir de los resultados empíricos, observaron que, en promedio, la industria azucarera de la India operaba con un alto nivel de ineficiencia global de aproximadamente del 35.5% por ciento, lo cual indicaba que, en promedio, se podía producir un 35.5% más de producción en la industria azucarera hindú usando el mismo paquete de insumos y adoptando las mejores prácticas. En el estudio se identifica que la mayor causa de la ineficiencia técnica es la administración (gerencia) más que la ineficiencia de escala. También en el trabajo se menciona que existe una gran variación en la ineficiencia técnica global pues variando en el rango de 43.67% y el 73.77%. Se resalta el hecho que la dominancia de la ineficiencia administrativa-gerencial como principal fuente de la ineficiencia global es un fenómeno perverso no limitado a algún estado de la India; pues

en cada estado productor de azúcar, la inhabilidad administrativa en la organización de los insumos del proceso productivo es la principal fuente de la ineficiencia global. Al hacer un análisis comparativo de las medidas de eficiencia entre el periodo que antecedieron a las reformas y el periodo posterior a las reformas, se observó que el proceso de reformas económicas había fallado en ejercer algún impacto positivo o negativo sobre la eficiencia de la industria azucarera hindú a nivel nacional o estado; lo cual es evidencia del hecho que la eficiencia promedio de la industria observo un declive en el periodo posterior a las reformas.

Se define el periodo pre-reformas al periodo que corre de 1947/75 a 1990/91 y al periodo post-reformas al periodo 1991/92 a 2004/2005. El analisis de regresion truncada con datos de panel persiguió examinar el impacto de varias variables explicatorias sobre las medidas de eficiencia y ello reveló que tanto la disponibilidad de mano de obra calificada como la rentabilidad tienen una relación positiva con la eficiencia técnica global como con la pura eficiencia técnica. Se encontró también que la intensidad de capital tiene un impacto negativo y estadísticamente significativo en las tres medidas de eficiencia, lo que indica que una mayor mecanización no conduce a aumentar la eficiencia de la industria azucarera hindú debido a la probable existencia de exceso de capacidad en la industria azucarera de la India.

La investigación finaliza afirmando que en general el análisis empírico muestra que la industria azucarera de la India presentaba altos niveles de ineficiencia gerencial en los principales Estados productores de azúcar, la cual parecia ser el resultado de intervenciones gubernamentales excesivas. Se afirma que la interferencia del gobierno en el proceso de producción obligaba a los gerentes a elegir una segunda mejor combinación alternativa de insumos en lugar de elegir la mejor asignación de recursos y por lo tanto, como resultado, las ineficiencias gerenciales prevalecieron en las operaciones de producción de las empresas azucareras. Además, la mayoría de los ingenios operaban con enormes pérdidas y, por lo tanto, no funcionan de manera eficiente en medio de la crisis financiera. La mayoría de las veces, se observo que las empresas azucareras eran las incumplidoras, incluso en el pago de los atrasos de la caña de azúcar. La rentabilidad negativa por lo tanto, obstaculizaba la eficiencia técnica de la industria azucarera.

Barrios (2007), expone los resultados sobre la medición de eficiencia técnica relativa de un conjunto de Unidades Básicas de Producción Cooperativas cañeras de la provincia de Villa Clara, Cuba, utilizando la metodología del análisis de datos envolventes. En el apartado de introducción se señala que históricamente sector agroindustrial azucarero ha tenido un peso determinante en la dinámica reproductiva de la economía cubana pero que, sin embargo, la pérdida del mercado preferencial de los países socialistas con la desaparición de este sistema en Europa Oriental, unido al propio agotamiento del modelo estructural y funcional provocaron en Cuba una singular crisis económica. Por lo tanto, el sector agroindustrial azucarero cubano no fue ajeno a la misma, al reducirse drásticamente los precios de comercialización de azúcar reduciéndose sustancialmente los ingresos de este sector. Esta situación conllevó a que se reevaluara para el desarrollo prospectivo de Cuba dos alternativas fundamentales: elevar la productividad y efectividad de la producción cañero azucarera y diversificar integralmente, para distribuir los riesgos y ser más independientes del mercado del azúcar.

Se señala que a pesar de la implementación del Programa de reestructuración de la agroindustria azucarera los resultados aún no se corresponden totalmente con los objetivos-metas de la producción cañera debido a una deficiente gestión de los recursos productivos en estas entidades productoras a factores exógenos como la carencia de algunos insumos en el mercado nacional, la elevación del precio de los mismos, la sobreexplotación de los suelos, las prolongadas sequías, entre otros. Por lo tanto, el objetivo fundamental de su trabajo fue identificar la eficiencia relativa de estas empresas productoras de caña, la eficiencia de escala correspondiente y de esta forma disponer de una información para fundamentar las líneas de actuación en la búsqueda de mayores niveles de producción con la utilización mínima de recursos. Señala que el concepto de eficiencia es un concepto multidimensional pues las empresas suelen producir múltiples productos a partir de múltiples insumos y que la evaluación de la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos se centra preferentemente en la medición de la eficiencia técnica debido a la dificultad que supone el conocimiento de los precios de productos e insumos. El procedimiento para la estimación de la eficiencia técnica fue el desarrollado por Charnes, Cooper y Rhodes (CCR, 1978). El modelo CCR considera la medida de eficiencia como el cociente entre la suma ponderada de los productos con la de insumos de cada unidad de decisión y es un programa fraccional en un programa ordinario lineal, a efectos del cálculo de los índices de

eficiencia. En el apartado de resultados la autora explica que el análisis de eficiencia se realizó para 90 ingenios azucareros.

Chaitip, Chukiaty y Inluang (2014), examinan las propiedades estadísticas de la eficiencia técnica de la producción de caña de azúcar en Tailandia utilizando el método de bootstrapping. Los datos utilizados para estimar la eficiencia técnica de la caña de azúcar fueron datos de panel para un periodo de cinco años (2008-2012) y recolectados de hogares agrícolas en las regiones cañeras de mayor relevancia en Tailandia. La eficiencia técnica fue modelada como una función del rendimiento de la caña de azúcar y de los factores de la producción. De acuerdo a los investigadores los resultados indican que las propiedades estadísticas y la eficiencia técnica en términos del rendimiento de la caña por unidad de superficie, es significativamente influenciada por el área cultivada y los factores locales de la precipitación. Entre los resultados también se destaca que la eficiencia de escala muestra que, para dos años, el análisis de la eficiencia técnica de los hogares agrícolas involucrada en la producción de azúcar puede ser adoptada para análisis de política basada en los enfoques del análisis de datos envolventes de panel, porque la media de este enfoque iguala la media del enfoque del análisis de datos envolventes ordinario con datos de panel solamente en los años de 2008 y 2011.

Nanda and Sujarwo (2016), afirman que en su país la demanda de azúcar es mayor que la oferta y su gobierno tiene un plan de autosuficiencia de mediano plazo. La importancia del programa es porque pretende lograr la autosuficiencia para satisfacer las necesidades nacionales de azúcar, utilizar los recursos de manera óptima, aumentar el bienestar de los agricultores y la sociedad, y aumentar las oportunidades de trabajo, de modo que pueda reducir el nivel de desempleo y por lo tanto los objetivos de su estudio son: 1) analizar los factores que afectan la producción de caña de azúcar; 2) analizar el nivel de eficiencia técnica en la producción de caña de azúcar e (3) identificar las características de los encuestados relacionadas con el nivel de eficiencia alcanzado en las actividades de producción de caña de azúcar. La muestra analizada consiste de todos los 36 pequeños productores caña de azúcar de la aldea de Sutojayan quienes son socios del ingenio cañero cercano a su población. La metodología de análisis para los dos primeros objetivos es el análisis estocástico de frontera y se utiliza el Stata 14.

Para la determinación de los factores que influyen la eficiencia técnica se utilizó la siguiente forma funcional:

$$\ln Y_i = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln X_{1i} + \beta_2 \ln X_{2i} + \beta_3 \ln X_{3i} + \beta_4 \ln X_{4i} + \beta_5 \ln X_{5i} + \beta_6 \ln X_{6i} + (v_i - u_i)$$

Donde:

Y	=	Cantidad de caña de azúcar producida	quintales
β_0	=	Ordenada al origen o intercepto	
β_1 a β_6	=	Parámetros estimados	
X_1	=	Tamaño de explotación	hectáreas
X_2	=	Semillas	Quintales
X_3	=	Fertilizante ZA	Quintales
X_4	=	Fertilizante phonska	Quintales
X_5	=	Herbicidas	Litros
X_6	=	Trabajo	Días-hombre
i	=	Agricultor- i , $i = 1, 2, 3, \dots, n$	
g	=	Término del error del agricultor- i , $g = v_i - u_i$	
v_i	=	Término de error estocástico	
u_i	=	Error que refleja la existencia de la ineficiencia técnica	

De acuerdo con los autores, que citan a Coelli *et al* (1998), la ecuación matemática de la eficiencia técnica en el marco de la frontera estocástica es:

$$TE_i = \frac{Y_i}{\exp(x_i \beta)} = \frac{\exp(x_i \beta - u_i)}{\exp(x_i \beta)} = \exp(-u_i)$$

Donde:

$$TE_i = \text{Eficiencia técnica}$$

Y_i	=	La cantidad producida de caña de azúcar por el agricultor - i
x_i	=	Cantidad de insumo usado por agricultor - i
β	=	Parámetro estimado
u_i	=	Variable aleatoria asociada con la eficiencia técnica
i	=	Agricultor – $i, i = 1, 2, \dots, n$

El valor del índice de ineficiencia técnica está entre cero y la unidad; es decir, si el índice está cercano a la unidad implica que la empresa es altamente productiva. La ineficiencia técnica de las actividades de cultivo de la caña de azúcar se prueba en función del valor de los parámetros σ^2 y γ . La ineficiencia técnica de las actividades agrícolas de la caña de azúcar es probada sobre el valor de σ^2 y los parámetros γ . La prueba de hipótesis en la investigación son los planteados de la siguiente forma:

a. Los parámetros σ^2

$H_0: \sigma^2 = 0$, lo cual significa que no hay efectos de ineficiencia técnica en el modelo

$H_1: \sigma^2 > 0$, lo cual significa que existen efectos de ineficiencia técnica

b. Los parámetros γ

$H_0: \gamma = 0$, lo cual significa que no hay efectos de ineficiencia técnica en el modelo

$H_1: \gamma > 0$, lo cual significa que existen efectos de ineficiencia técnica

En el análisis estadístico, la interpretación de los parámetros estimados mediante la función de producción doble logarítmica se realiza en términos porcentuales. No obstante, de los seis insumos utilizados en la producción de caña de azúcar, solo un insumo es estadísticamente significativo al 95% de confianza. Este insumo fue la semilla de la caña de azúcar. Respecto al índice promedio de eficiencia técnica de los productores de la localidad estudiada fue de 0.95. Esto implica que la eficiencia de la producción de caña de azúcar podría mejorarse en 5%. Además, el nivel mínimo de eficiencia técnica es 0.870 y el más alto es 0.989. El alto índice de eficiencia técnica logrado en esta investigación se debe a

que los encuestados forman parte del programa de asociación con Kebon Agung Sugar Factory.

Por otro lado, Johnson *et al* (1995), analizan la eficiencia de la producción de caña de azúcar utilizando el enfoque del análisis estocástico de frontera. En el trabajo se señala que en sus más de 200 años de existencia la agroindustria de la caña de azúcar, en el estado norteamericano de Luisiana, ha contribuido significativamente en términos de empleo e ingreso. Se afirma que durante dicho periodo tal agroindustria sufrió intensos cambios estructurales pero que en las últimas tres décadas precedentes a 1995 el número de ingenios azucareros disminuyó considerable mientras la capacidad de molienda diaria se incrementó. De esta manera, se afirma que a futuro la agroindustria de la caña de azúcar debe enfrentar retos y ser más productivos y eficientes en el uso de los recursos debido principalmente a la incertidumbre de la política pública respecto al sector en aquella época y a la cambiante estructura de costos de la agroindustria. Si bien los ajustes para cambiar los escenarios económicos y físicos han sido progresivos, poco se conocía acerca de la eficiencia técnica (ET) de las factorías de caña de azúcar sobrevivientes usando modelos económicos de la eficiencia técnica.

Las factorías azucareras de Luisiana usan el llamado “factor de liquidación” como una medida de eficiencia técnica. Esta medida relaciona la cantidad de azúcar realmente recuperada (en libras por tonelada de caña) como un porcentaje del azúcar teóricamente recuperable (también referida como recuperación prevista de azúcar). No obstante, se señala que este índice es de valor limitado como una medida de desempeño. En primer lugar, porque su interpretación es algo subjetiva debido a que tal índice no está constreñida al intervalo entre cero y la unidad y por lo tanto tiene un límite superior abierto y porque tal índice solo considera solo uno de los insumos usados en la producción de azúcar cruda, ignorando los otros insumos en la función de producción. Por lo tanto el “factor de liquidación” como medida de eficiencia carece de justificación económica formal¹.

¹ En las estadísticas de la agroindustria de la caña de azúcar del CONADESUCA (2017) un índice análogo aparece con el nombre de KARBE por tonelada bruta teórico y el KARBE por tonelada neto teórico donde KARBE se refiere a los kilos de azúcar recuperable base estándar.

Los autores argumentan por lo tanto que es necesaria la construcción de un índice de eficiencia técnica consistente con la función de producción de los ingenios cañeros (fábrica) porque el mismo puede proporcionar información útil relacionada con las diferencias en el rendimiento técnico asociado con el tamaño de ingenio, predicciones de eficiencias técnicas de ingenios individuales basadas en el proceso de producción y una indicación de pérdidas en unidades monetarias debido a ineficiencias técnicas, además de que las inversiones de capital en la industria de procesamiento de la caña de azúcar, en particular las asociadas con mejoras en las fábricas, tienden a ser considerables, y la tasa de rendimiento del capital está directamente relacionada con la eficiencia técnica de la unidad de toma de decisiones. De esta manera, el conocimiento de la eficiencia técnica por sí solo puede contribuir significativamente a una mejor comprensión del desempeño de los ingenios azucareros y, quizás, a aumentar las posibilidades de supervivencia de los mismos a largo plazo.

En la industria azucarera de Luisiana, el incentivo de beneficio para reducir la ineficiencia técnica en el nivel de procesamiento se extiende tanto a los productores de caña de azúcar como a los propietarios y debido a los acuerdos contractuales tradicionales entre productores y procesadores. Por lo tanto, el documento proporciona medidas de eficiencia técnica de los procesadores individuales de caña de azúcar de Luisiana utilizando una función de producción de frontera estocástica. El documento se estructura de la siguiente manera: en el primer apartado brevemente se resaltan los cambios estructurales ocurridos en la industria procesadora de caña de azúcar de Luisiana. En el segundo apartado se presenta una revisión de la literatura referente a la medición de la eficiencia. Los procedimientos, incluida la especificación y los datos del modelo, se incluyen en la siguiente tercera, seguidos por los principales resultados del estudio y una cuantificación de la eficiencia técnica. El artículo concluye con un resumen de las principales implicaciones del trabajo y agrega algunas observaciones sobre futuras investigaciones.

Se dice que los análisis de eficiencia de frontera a menudo se utilizan para evaluar cuestiones relacionadas con la estructura de la agricultura, la supervivencia de las familias de los hogares agrícolas, los aspectos estructurales y financieros de las empresas de agronegocios y los aspectos de la política agrícola. El objetivo de los estudios previos ha variado desde la estimación de la eficiencia técnica hasta la estimación de la eficiencia económica (técnica y de asignación), la escala y el alcance.

La eficiencia técnica se relaciona con la pregunta del como una empresa utiliza la mejor tecnología disponible en su proceso de producción, mientras que la eficiencia asignativa refleja si una empresa técnicamente eficiente produce al menor costo posible. A menudo es el caso que los datos no están disponibles para estimar un índice de eficiencia económica y, por lo tanto, el foco de algunos estudios es, necesariamente, en los aspectos técnicos de la producción.

El esfuerzo serio de estimar funciones de producción de frontera comenzó con Farrell (1958). Posteriormente, se han desarrollado varias técnicas de programación matemática y econométrica que han ampliado las opciones a los investigadores en la formulación de estudios de eficiencia técnica.

El enfoque de la frontera estocástica ha ganado considerable popularidad en la literatura económica. Esto se debe, en parte, en primer lugar, a la capacidad del modelo para separar las desviaciones de la frontera en componentes aleatorios y de ineficiencia, y en segundo lugar a la ventaja de realizar inferencias estadísticas sobre la función de respuesta y los componentes de ineficiencia. Los desarrollos más recientes han expandido la investigación previa mediante la adopción de modelos que capturan las propiedades hipotéticas de la ineficiencia técnica.

De acuerdo con Johnson *et al* (1995) los desarrollos de Battese y Coelli (1991, 1992) se habían aplicado (para la época en que fue publicado su trabajo) al estudio de las unidades productoras de caña de azúcar de Luisiana (Kanjilal). Las ineficiencias técnicas específicas de cada unidad productora fueron estimadas a partir de datos de panel de cuarenta y cinco granjas de caña de azúcar bajo especificaciones alternativas de modelos y suposiciones de distribución. Los resultados indicaron que la eficiencia técnica aumentó con el tiempo y que la ineficiencia asignativa fue mucho más alta que la eficiencia técnica.

La eficiencia técnica se refiere a la capacidad de producir el nivel máximo de producción para una cantidad dada de insumos y tecnología. Si se observa una empresa con un plan de producción (y^0 , x^0), dicho plan es técnicamente eficiente si $y^0 = F(x^0)$ y técnicamente ineficiente si $y^0 < F(x^0)$, donde $F(x^0)$ es el producto máximo (frontera) asociada con el nivel de

insumos, dada por x^0 . Por lo tanto, la eficiencia técnica puede medirse por la relación entre los valores de producción reales y los valores de producción de la frontera de producción.

En el estudio se hacen las siguientes suposiciones respecto a la especificación de la frontera: 1) cada empresa en la agroindustria de la caña de azúcar tiene la misma tecnología; 2) todos los insumos son homogéneos.

La forma funcional utilizada en el estudio fue la siguiente:

$$\ln Y_{it} = \beta_0 + \sum_{j=1}^4 \beta_j \ln X_{ijt} + v_{it} - u_{it}, \quad i = 1, \dots, 19; \quad t = 1, \dots, 7,$$

Donde

Y	=	Azúcar cruda producida (ton)
X_1	=	Caña de azúcar producida (ton)
X_2	=	Trabajo asociado con operaciones en fábrica (hrs)
X_3	=	Gas (M.C.F. -1,000 pies cúbicos)
X_4	=	Agua de lavado (millones de galones)
V_{it}	=	Error estadístico
u_{it}	=	Error aleatorio de una cola que refleja las ineficiencias de la UDM respectiva.

Por construcción, $u_{it} \geq 0$ lo que implica que la ineficiencia existe y $u_{it} = 0$ implica que no existe ineficiencia. Se asume que:

$$u_{it} = u_i e^{-\eta(t-T)}, \text{ y}$$

$$v_{it} \sim N(0, \sigma_v)$$

donde η es un parámetro desconocido y u_i es una truncación de la distribución $v_{it} \sim N(\mu, \sigma^2)$.

Hay tres parámetros en estos modelos que se relacionan con ineficiencias técnicas. El primero es η que mide si la ineficacia en el procesamiento del azúcar ha cambiado con el tiempo; $\eta < 0$, $\eta > 0$ y $\eta = 0$ implican que las ineficiencias están disminuyendo, aumentando o permanecen constantes, respectivamente. Dado que se supone que la ineficiencia es estocástica, su distribución está representada por una variable aleatoria μ . El parámetro $\gamma = \frac{\sigma_u}{\sigma_v}$, está asociado con el grado de ineficiencia; un valor de cero para γ y implica la ausencia de ineficiencia.

La ecuación anterior se conoce comúnmente como un modelo de frontera estocástica. Una característica atractiva de esta especificación es que el modelo permite varias restricciones en los parámetros η , μ y γ . Imponer la restricción $\eta = \mu = \gamma$ implica ausencia de ineficiencia. Similarmente, la restricción $\eta = 0$ implica que los efectos de ineficiencia son invariantes en el tiempo. Los coeficientes del modelo y los parámetros que describen los errores aleatorios y de ineficiencia se estiman mediante métodos de máxima verosimilitud y las restricciones se prueban con las pruebas clásicas de la razón ratio de verosimilitud.

Los datos del estudio consisten en datos secundarios y primarios de panel que se obtuvieron de diecinueve fábricas independientes de procesamiento de azúcar en Luisiana para las temporadas de molienda de 1986 a 1992. Estos datos incluyen la producción de azúcar en bruto junto con los niveles correspondientes y como insumos se consideran a la caña de azúcar, trabajo, gas y agua de lavado. La producción de azúcar en bruto y los cuatro insumos son medidos en cantidades anuales totales como los reportaron confidencialmente los ingenios. Uno de los ingenios suspendió actividades en fábrica durante uno de los años considerados en el estudio para lo cual se consideró que mantuvo idéntico nivel de eficiencia que el año previo con lo que se tuvo una muestra balanceada de datos de panel.

Los resultados obtenidos en la estimación de los parámetros de las funciones de la frontera de producción estocástica para las factorías de azúcar de Luisiana son los mostrados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Resultados del modelo de frontera estocástica de Johnson et al (1995)

Variable	Modelos				
	MCO	I	II	III	IV
Constante	-2.527 (-5.99)	-2.506 (-5.69)	-2.506 (-5.67)	-2.525 (-5.65)	-2.604 (-4.52)
Caña de azúcar	0.947 (22.27)	0.935 (21.05)	0.934 (21.59)	0.941 (22.53)	0.935 (39.29)
Trabajo	0.058 (1.54)	0.061 (1.52)	0.062 (1.56)	0.059 (1.53)	0.062 (2.08)
Gas	-0.002 (-1.13)	-0.002 (-1.03)	-0.002 (-1.07)	-0.002 (-1.12)	-0.002 (-1.11)
Agua de lavado	0.040 (1.11)	0.047 (1.22)	0.048 (1.27)	0.042 (1.09)	0.060 (2.24)
Ln L	154.62	154.85	154.86	155.09	156.62
R^2 ajustada	0.95				
γ		0.098 (0.62)	0.060 (0.38)	0.291 (2.05)	0.203 (0.70)
μ			0.022 (0.28)		0.049 (0.35)
η				-0.273 (-4.40)	-0.245 (-0.74)
σ^2	0.006	0.006	0.006	0.008	0.007

Nota: La razón de t aparece entre paréntesis; γ es un parámetro de ineficiencia; η es un parámetro de varianza en el tiempo y μ es un parámetro de la distribución.

Fuente: adaptado de Johnson (1995).

La primera columna muestra los resultados de la regresión mínimos cuadrados ordinarios, seguidos de los resultados para los modelos I-IV definidos en la Tabla 1 del artículo. La caña de azúcar, el principal insumo en la producción de azúcar en bruto, obtiene la mayor elasticidad de producción de 0.93 o 0.94. La suma de los coeficientes estimados del modelo de frontera es cercana a uno, y no se rechaza una prueba t sobre la hipótesis de rendimientos constantes a escala (el valor t estimado es 1.24 con 128 grados de libertad). El trabajo y el agua de lavado tienen elasticidades muy bajas y son solo variables significativas en el modelo IV. En todos los modelos, la variable del gas exhibe una relación negativa y no es significativo estadísticamente.

Los modelos estocásticos de frontera (I-IV) también reportan estimaciones de parámetros para η , que mide las propiedades variables en el tiempo de los efectos no negativos de la firma u_{it} , μ la cual es la moda de la distribución para los efectos de la firma, y γ que mide la ineficiencia (un valor entre cero y la unidad). La especificación general del modelo de frontera IV es equivalente a la función de respuesta tradicional si los parámetros γ , η y μ son simultáneamente igual a cero; esto es una prueba de la hipótesis nula: $H_0 : \gamma = \eta = \mu = 0$

la cual puede ser probada estimando como el ratio de las funciones de verosimilitud para el modelo IV (el modelo no restringido) y el modelo restringido vía mínimos cuadrados ordinarios. Este cociente de verosimilitud se distribuye como una Chi-cuadrada con tres grados de libertad. Para los datos de panel balanceados usado en el estudio en cuestión, la hipótesis no es rechazada (la razón de verosimilitud estimado es igual a 4), sugiriendo que la función promedio de respuesta tradicional puede ser apropiada para los datos utilizados en el estudio. Al comparar los resultados de los modelos III y IV, sin embargo, cuando la distribución del parámetro de ineficiencia μ es igualado a cero, el parámetro de ineficiencia γ y el parámetro variante en el tiempo η llegan a ser significativos (modelo III), pero esta significancia desaparece cuando μ es estimado en el modelo IV. En el artículo, para evitar el sesgo por una especificación errónea, se adoptó el modelo IV para predecir la eficiencia técnica. La hipótesis de que ninguna variable explicatoria relevante ha sido omitida de la ecuación de regresión se usó la prueba de error de especificación de la regresión (RESET.) En el estudio se implementaron tres versiones de la prueba lo cuales dieron como valore de la Chi-cuadrada de 0.60, 0.63 y 0.81, lo cual implico que el modelo no tenía el problema de variable relevante omitida, por lo que el modelo estaba apropiadamente especificado.

El factor de liquidación de la caña de azúcar descrito en la introducción es comúnmente utilizado por las fábricas cooperativas (que comprenden aproximadamente la mitad de las fábricas en el estado) para medir el rendimiento. Para el período de 1986 a 1992, los factores de liquidación mínimos y máximos fueron aproximadamente 0.82 y 1.025, respectivamente. Como se dijo, al principio, en este trabajo se ha estimado la medida alternativa de eficiencia técnica (TE) para las fábricas azucareras individuales y para la industria utilizando el procedimiento de Battese y Coelli (1991). Durante 1986, las fábricas de azúcar experimentaron un nivel relativamente alto de eficiencia en comparación con la frontera de eficiencia. El índice TE más bajo para 1986 fue de 0.981, mientras que el más alto fue de 0.993. El índice TE para la fábrica más ineficiente en 1992 fue de 0.918, mientras que el de las fábricas más eficientes fue de 0.97.

Gran parte del interés en este estudio está relacionado con las implicaciones de la ineficiencia no solo para las fábricas, sino también para los productores y los propietarios. Una gran repercusión del acuerdo de acciones es que solo el 40% de todas las pérdidas

debidas a la ineficiencia técnica en el procesamiento se acumulan en las fábricas de crudo bruto. El restante 60% de las pérdidas son absorbidas por productores y propietarios sobre una base acorde con el acuerdo de tenencia de la tierra.

Los altos niveles estimados de eficiencia técnica durante el período de 1986 a 1992 sugieren que la industria ha alcanzado una etapa de equilibrio al ajustarse a fábricas más pequeñas y más grandes. El hallazgo de rendimientos constantes a escala implica que cero economías de escala caracterizan a la industria de procesamiento durante el período de estudio. Este resultado parece consistente con el reciente cese en la disminución del número de fábricas que había causado considerable preocupación durante el período de 1967 a 1985, cuando los fabricantes disminuyeron en más del 50%. El aumento de la productividad por lo tanto requeriría la introducción de nuevas innovaciones o un mayor nivel de tecnología.

Uno de los temas relevantes cuando se calcula el índice de Malmquist para múltiples insumos y múltiples productos es el concepto de función de distancia. Farel *et al* (2018) en su trabajo “Distance functions with applications to DEA” señalan que la dualidad entre las funciones de distancia y las funciones de soporte son la base para las medidas de desempeño y su descomposición y que la DEA puede ser utilizada para evaluar tales medidas. Por ejemplo, se tiene que la función de distancia del insumo es el dual de la función de costo

Farel *et al* (2018) señalan que frecuentemente se distingue entre orientación al insumo y orientación al producto, es decir, entre funciones de distancia del insumo y función de distancia del producto. Estas funciones son recíprocas una con la otra si y solamente si la tecnología exhibe retornos constantes a escala. En general tales funciones están asociadas a través de la teoría del dual, con dos problemas diferentes de optimización. La función de distancia del insumo ésta asociada con la minimización del costo y la función de distancia del producto con la maximización del ingreso. Estas asociaciones las convierten en medidas de componente en las medidas de costo e ingreso de la eficiencia general. En particular la medida del costo de la eficiencia global puede ser descompuesto como multiplicación de un componente técnico del insumo (función de distancia del insumo) y un componente de la asignación del insumo. En el caso de la medida para el ingreso se aplica una descomposición.

Fare *et al* (2018) afirman que hasta recientemente, sin embargo, no se conocía una relación dual simple entre las funciones de distancia y la función de ganancia. Las ganancias como la diferencia entre ingresos y costos no tenían la simple estructura multiplicativa de las funciones de costo, ingresos y entrada tradicional y distancia de salida. Las ganancias como la diferencia entre ingresos y costos no tenían la simple estructura multiplicativa de las funciones de costo, ingresos y las funciones tradicionales de distancia del insumo y producto. El vínculo perdido es lo que Fare *et al* (2017) llaman la función de distancia direccional. La función de distancia direccional tiene una estructura híbrida que provee el dual de la función de ganancia y las bases para su descomposición en los componentes de la eficiencia técnica y la eficiencia asignativa. También provee las tradicionales funciones de distancia como casos especiales.

La dirección en la cual las funciones de insumo y producto tradicionales evalúan la eficiencia es determinado por los datos de insumo y producto de una DMU en sí misma. En contraste, para la función de distancia tradicional, la dirección en la cual las DMU's deben ser evaluadas es la variable de elección. Es decir, estas funciones de distancia permiten elegir en cual dirección estimar la eficiencia técnica. Esto es una consideración importante; por ejemplo, cuando se producen conjuntamente un producto deseado y uno no deseado (v. gr., contaminante). Esta posibilidad es fácilmente modelada con una función de distancia direccional.

Fare y Grosskopf (2000) demostró como la ineficiencia en costos podía ser descompuesta en dos mutuamente y exhaustivos componentes: eficiencia técnica y eficiencia asignativa y que tal resultado es consecuencia del hecho que la función de costo y la función de distancia del insumo son el dual la una de la otra así como análogamente la función de ingreso y la función de distancia del producto son duales y proveen las bases para la descomposición de la ineficiencia del ingreso en sus componentes técnicos y asignativos. De esta manera, señalan los autores en su investigación que su propósito es extender estos resultados para incluir la función de distancia direccional y su dual, la función de ganancia, lo cual provea las bases para definir y descomponer la eficiencia de la ganancia y mostrar como las funciones de distancia del insumo y el producto son casos especiales de la función de distancia direccional.

En el segundo numeral de su paper los autores hacen un repaso de la función de distancia direccional y su relación con la función de ganancia, lo cual es de interés para la presente investigación.

El apartado segundo revisa algunas de las propiedades de la función de distancia direccional y provee una prueba de cómo la propiedad de traslación evoluciona a la homogeneidad cuando el vector direccional es elegido para obtener uno de sus casos especiales, la función de distancia del producto. En un segundo momento se muestra la relación dual básica entre la función de distancia direccional y la función de ganancia y de aquí los autores derivan la desigualdad de Mahler (o producto) la cual el fundamento para la medida de la eficiencia y su descomposición en sus componentes técnicos y asignativo en el espíritu de Farrell (1957).

En su artículo los autores denotan a tecnología por T , la cual está describiendo la transformación los vectores de insumo $x = (x_1, \dots, x_N) \in R_+^N$ en vectores de productos $y = (y_1, \dots, y_M) \in R_+^M$, es decir:

$$T = \{(x, y) : x \text{ puede producir } y\}$$

En términos de las propiedades satisfechas por la tecnología T , se asume que es conjunto cerrado y convexo y que insumos y productos son libremente disponibles. Formalmente la libre disponibilidad es definida como:

$$\text{para } (x, y) \in T, x' \geq x, y' \leq y, \text{ implica } (x', y') \in T$$

De acuerdo a los autores, si $g = (-g_x, g_y)$ es un “vector direccional”, entonces la función de distancia direccional definida sobre la tecnología T es:

$$\bar{D}_T(x, y; -g_x, g_y) = \sup\{\beta : (x - \beta g_x, y + \beta g_y) \in T\}$$

Esta función de distancia simultáneamente busca expandir el producto y contraer el insumo. Esto se ilustra en el gráfico 2. En la figura. $g = (-g_x, g_y)$ es el vector direccional en el cual el vector insumo-producto (x, y) es proyectado a la frontera de T en $(x - \bar{D}_T g_x, y + \bar{D}_T g_y)$, donde $\bar{D}_T = \bar{D}_T(x, y; -g_x, g_y)$.

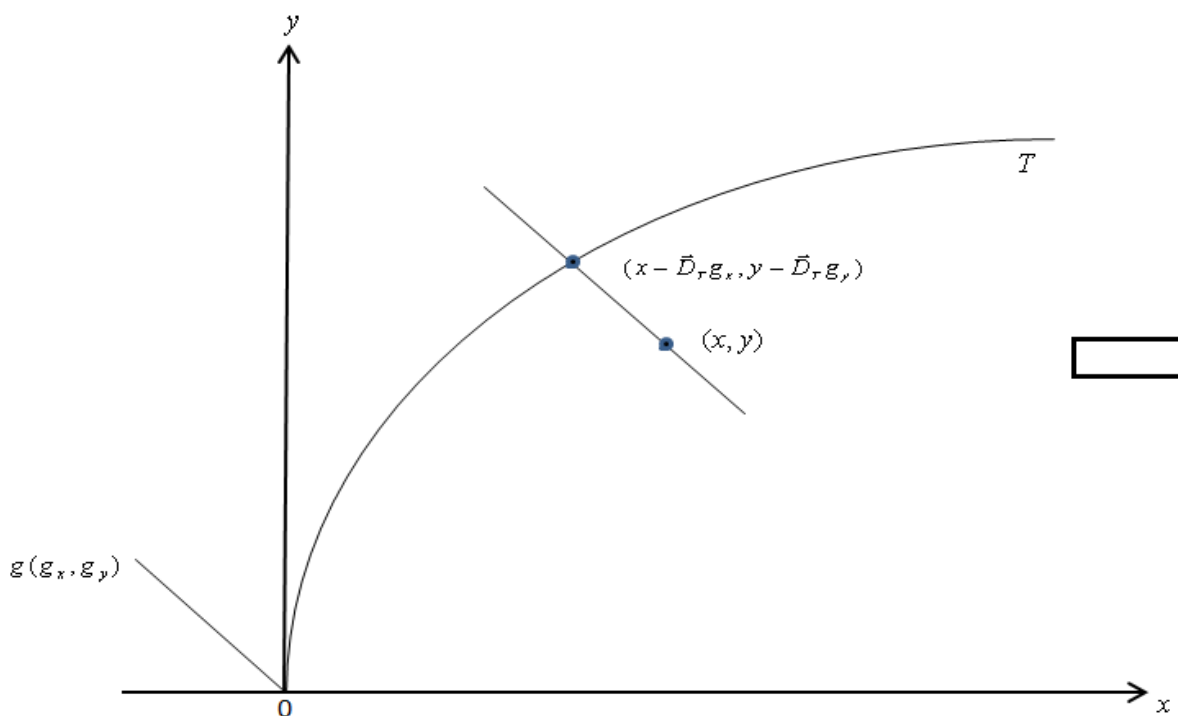


Gráfico 2. La función de distancia direccional

Fuente: Fare y Grosskopf (2000).

Es importante observar que la función de distancia direccional es una completa caracterización de la tecnología. Formalmente esto se expresa por:

$$\bar{D}_T(x, y; -g_x, g_y) \geq 0 \text{ si y solo si } (x, y) \in T$$

Entre las otras propiedades de la función de distancia, la que mayor relevancia reviste y a la que los autores desarrollan es la propiedad de translación. Esta propiedad corresponde

a la homogeneidad de grado +1 de productos en la función de distancia del producto, lo cual se muestra en el artículo de la siguiente manera. Se inicia definiendo la función de distancia del producto como:

$$D_0(x, y) = \inf\{\theta : (x, y/\theta) \in T\}$$

Como se mencionó arriba, esta función es homogénea de grado +1 en los insumos, es decir:

$$D_0(x, \theta y) = \theta D_0(x, y)$$

Además, las funciones de distancia direccional y del producto están relacionadas por:

$$\bar{D}_T(x, y; 0, y) = (1/D_0(x, y)) - 1$$

Es decir, si el vector direccional g es tomada por ser $(0, y)$, entonces las dos funciones están relacionadas por esta última expresión.

El tema de los retornos a escala en el contexto de la metodología DEA es revisado por Banker y Thrall (1990). Mencionan que la técnica del análisis envolvente de datos, para aquella época, era ya ampliamente utilizada para estimación de correspondencia entre múltiples insumos y productos y la evaluación de la eficiencia productiva de las unidades de toma de decisiones (DMU). La técnica fue introducida por Charnes, Cooper y Rhodes (CCR) en 1978. En 1984 Banker, Charnes y Cooper (BCC) mostraron que la medida de eficiencia de CCR puede ser tratada como el producto de una medida de eficiencia técnica (eficiencia BCC) y una medida de una eficiencia de escala. Relacionada con esta última medida ésta la noción económica de retornos a escala. Se dice en el trabajo de Banker y Thrall (1990) que BCC proveyeron una modificación a la formulación de programación lineal de CCR mediante la adición de una restricción de convexidad para estimar la eficiencia técnica y los retornos a escala. Se señala que Banker (1984) introdujo la noción de tamaño de escala más productivo (MPSS) y mostro como la formulación en forma de programación lineal de CCR puede ser empleada para estimar los retornos a escala.

En la parte introductoria también se señala que la investigación de Banker (1984) está limitado a la consideración de una sola solución óptima al problema de programación lineal planteado por CCR y entonces su trabajo trata directamente con el caso de una sola MPSS. De manera análoga, Baker, Charnes y Cooper (1984) también centran su atención sobre el caso de una solución única al problema de programación lineal en el planteamiento de BCC y su formulación dual. Esto corresponde al caso cuando existe un hiperplano de soporte único para el conjunto de posibilidades de producción estimado usando la metodología DEA. Esta limitación es de considerable preocupación en aplicaciones empíricas usando esta metodología cuando hay múltiples soluciones óptimas, como es muy común que ocurra.

Banker y Thrall (1990) desarrollan un marco riguroso para permitir la posibilidad de soluciones múltiples óptimas considerando al mismo tiempo los problemas de estimar los retornos a escala. Con tal propósito los autores también consideran la definición de retornos a escala que es aplicable a situaciones de múltiple insumo y múltiple producto y lo relacionan a los estimados del tamaño de escala más productiva y la escala de eficiencia obtenida usando las formulaciones de programación lineal de CCR y BCC. Dicha cuestión requiere la identificación de la frontera sobre las pendientes de los posibles hiperplanos de soporte múltiples para el conjunto de posibilidades de producción convexo en cualquier punto de su frontera. También se presentan los métodos para la estimación empírica de estos límites y por lo tanto los retornos a escala bajo la situación general de múltiples soluciones a la formulación de programación lineal de la DEA.

Sengupta (1999), menciona que los cambios en la productividad debido al progreso o regresión tecnológica son incorporados en los modelos del análisis envolvente de datos en dos formas: a través de una tecnología de red o en términos de una capacidad variable o insumo de capital encarnando progreso tecnológico. Esta última manera es analizada en esta investigación en términos de insumos de capital que varían con el tiempo debido a los cambios en los precios de los insumos en el tiempo. Esto provee un punto de vista teórico de control óptimo de la senda temporal de los insumos de capital lo cual minimiza una suma descontada de los costos totales de los insumos para cada unida de toma de decisiones. El costo de la aversión al riesgo y los costos de ajustes de las fluctuaciones de los precios de los insumos pueden ser entonces minimizados en un marco extendido del modelo DEA.

Estas extensiones del modelo DEA son analizados en este artículo de Sengupta (1999) e ilustrado con una aplicación empírica.

El artículo inicia aseverando que la DEA es utilizada para evaluar la eficiencia en organizaciones no lucrativas como escuelas, colegios, hospitales y las DMU del sector público. No obstante, ahora en día es usada por el sector privado que utilizan múltiples insumos y obtiene múltiples productos en sus procesos. En esta parte introductoria el autor menciona que el objeto de su estudio es doble. En primer lugar considera un modelo de eficiencia dinámica involucrando la minimización intertemporal del costo en el marco de un modelo DEA. En segundo lugar, la consideración de las implicaciones de la frontera intertemporal de costo, cuando los precios de los insumos no son completamente conocidos, es decir, cuando los precios están sujetos a errores estocásticos.

En el apartado segundo del artículo se desarrollan dos modelos dinámicos. El primero trata todos los insumos variando a través del tiempo en el cual se incorpora un horizonte intertemporal de planeación en el modelo DEA. Este modelo tiene la característica flexible al permitir a la firma computar la senda temporal de usos óptimos de los insumos sobre un periodo de tiempo. El segundo de modelos distingue entre líquidos e insumos de capital y entonces minimiza el flujo descontados de costos para la liquidez y los desembolsos en capital en el marco de la DEA. Este modelo tiene la flexibilidad que provee una frontera dinámica de costo dinámica, donde el corto plazo y las soluciones óptimas del estado estacionario pueden ser separadamente analizadas.

De acuerdo con Sengupta (1999) su enfoque involucra el concepto de función de producción dinámica, donde el producto depende de los insumos en el presente y las inversiones en los insumos de capital. Puesto que es de interés en la eficiencia global a través del tiempo cuando los precios futuros esperados de los insumos prevalecen, los líquidos y los insumos de capital son las variables de decisión como en un típico modelo de control óptimo.

Por otro lado, Martínez *et al* (2013), hizo un seguimiento de la eficiencia productiva de las entidades federativas en México. La hipótesis de trabajo fue que dicha eficiencia es baja. Para ello utilizó el índice de Malmquist para el obtener el cambio en el índice de la productividad total de los factores y descomponer éste en los cambios en la eficiencia y

cambio en el progreso tecnológico. Para dicho propósito se generó una base de datos en donde se empleó como variable producto el producto interno bruto (PIB) y como variables insumos a la población económicamente activa ocupada (MO) y el inventario de capital (K). Las tres variables por entidad federativa.

Después la parte introductoria Martínez et al (2013) en su trabajo hace una exposición sobre el índice de Malmquist basado en lo que en la investigación se llama análisis de datos envolventes. De dicho apartado vale la pena destacar lo siguiente: en el enfoque de datos envolventes se supone convexidad, eliminación gratuita de productos e insumos y rendimientos constantes a escala. Es también importante destacar que el análisis de datos envolventes no considera los efectos aleatorios, por lo que los disturbios externos que ocasionen una desviación de la frontera y afecten el desempeño de una unidad son captados como ineficiencias, pudiéndose sobre o subestimar la medición (Martínez *et al*, 2013). En el artículo también se menciona que además del supuesto de rendimientos constantes a escala también se supuso que el índice de productividad de Malmquist estaba orientado al insumo.

3.2. Fuentes de información

La principal fuente de información para poder realizar las corridas del modelo de programación lineal para los cálculos de las funciones de distancia a través del DEA, lo constituyo el “Informe estadístico del sector agroindustrial de la caña de azúcar en México Zafras 2006-2007/2015-2016” que publico el CONADESUCA en línea en 2017. De acuerdo con dicha institución, en tal documento se encuentran tabulados históricos de 10 años de los siguientes conceptos:

Cuadro 2. Información obtenida por el CONADESUCA

Concepto	Variables
Molienda y producción	27
Campo	12
Parámetros de eficiencia	16
Perdidas de sacarosa	5
Generación y consumo de energía	5
Consumo de petróleo	7
Resumen de tiempos perdidos	6
Total	78

Fuente: elaborado en base a CONADESUCA (2017).

La información del periodo de 10 años para las unidades de toma de decisiones de esta investigación, ingenios cañeros, tienen la estructura de datos de panel balanceada resultando una muestra de 50 ingenios pues se han eliminado algunos que no tienen información para alguna variable, sobre todo en los últimos tres años del periodo de estudio, debido a que dichos ingenios azucareros han dejado de operar.

El conjunto de datos de panel emplea el llamado Long Format, por ser el que soporta el software utilizado para el cálculo de las medidas de eficiencia e índice de la productividad total de los factores. Este software es el Win4DEAP versión 2.1, que es una adaptación para correr en Windows el software DEAP original de Coelli (1996), el cual corría bajo el antiguo sistema operativo que precedió a la plataforma Windows.

3.3. Base de datos de panel balanceados

Para mostrar la disposición del conjunto de datos de panel utilizado, a manera de ejemplo, se tomarán cuatro ingenios azucareros y solo cuatro años de datos (2013, 2014, 2015, 2016). La variable azúcar producida total base estándar es un único producto u output. Las variables caña molida bruta y vehículos de acarreo son tres insumos o inputs. El conjunto de panel balanceado tendría la apariencia que se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Muestra del conjunto de datos de panel balanceado

Ingenio	Periodo	Azúcar estándar (ton) (output)	Caña molida bruta (ton) (input)	Vehículos de acarreo (Unidades) (input)
Atencingo	2013	240,995	1,887,603	708
Atencingo	2014	241,084	1,864,958	717
Atencingo	2015	219,737	1,720,750	727
Atencingo	2016	228,967	1,810,879	717
Bellavista	2013	76,423	612,189	147
Bellavista	2014	83,782	700,558	156
Bellavista	2015	90,850	739,396	159
Bellavista	2016	85,029	706,574	164
El Higo	2013	202,480	1,783,678	235
El Higo	2014	169,400	1,634,500	152
El Higo	2015	180,734	1,793,904	196
El Higo	2016	198,345	1,795,411	219
Tamazula	2013	181,486	1,464,864	158
Tamazula	2014	161,076	1,393,626	162
Tamazula	2015	164,744	1,444,514	171
Tamazula	2016	141,968	1,156,946	168

Fuente: elaborado a partir de CONADESUCA (2017).

Los datos de las variables corresponden a los observados para los respectivos años en los ingenios. Nótese el hecho que el conjunto de datos es balanceado porque todos los años tienen datos en todas las variables. Esta condición se cumple para todas las variables y en todos los años del periodo de estudio.

3.4. Variables utilizadas en el estudio

Las variables utilizadas para correr el modelo de programación lineal, calcular los cambios en las eficiencias, el cambio (regresión) tecnológico(a), las funciones de distancia a través

de la DEA y a partir de estas el índice de la productividad total de los factores vía el índice de Malmquist, se muestran en el Cuadro 4. En la cuarta columna se define si dicha variable es un insumo (input) o un producto (output).

Cuadro 4. Definición de las variables utilizadas		
Variable	Unidades	Tipo
Azúcar producida por hectárea	Toneladas	Output
Energía total consumida	Kw-h	Input
Vehículos de acarreo	Unidades	Input
Caña molida neta	Toneladas	Input
Cortadores	Jornaleros	Input
Frentes de corte	Unidades	Input
Tiempo de zafra perdido	Horas	Input

Fuente: adaptado de CONADESUCA (2017).

3.5. Definición de las variables

La definición de las variables que se realiza a continuación es la descrita en CONADESUCA (2017). La definición se realiza para fines operativos y prácticos más que con fines teóricos pues cada variable puede ser motivo análisis en la ingeniería de la caña como en Rein (2012).

3.5.1. Azúcar producida por hectárea.

Es el resultado de dividir la azúcar producida total base estándar entre las hectáreas de la superficie cosechada de caña.

3.5.2. Energía total consumida.

Esta es una variable no reportada directamente en las estadísticas del CONADESUCA (2017). No obstante, algunos ingenios azucareros queman petróleo, bagazo y otros compran energía eléctrica a la CFE para generar la potencia necesaria para la molienda de caña. En los Anexos se presenta el procedimiento paso a paso para mostrar como obtener una variable unica que permite agregar bagazo, petroleo y electricidad en una sola variable en unidades comunes.

3.5.3. Vehículos de acarreo.

Unidades utilizadas para transportar la caña cortada en campo a los patios del ingenio para ser molida. No se especifica tipo de unidades, potencias, capacidad, etc.

3.5.4. Caña molida neta.

Volumen de caña de azúcar que ingresa al ingenio para la producción de azúcar habiendo eliminado impurezas y materias extrañas. Es el insumo del que se obtendrán productos deseables como el azúcar base estándar, bagazo, alcohol, entre otros. No obstante, también se obtendrán algunos productos indeseados como la cachaza y emisiones, etc.

3.5.5. Cortadores.

Jornaleros que realizan el corte de la caña en la época de cosecha.

3.5.6. Frentes de corte.

Grupo de jornaleros para realizar el corte de la caña de azúcar una vez que ha sido realizada la quema.

3.5.7. Tiempo de zafra perdido.

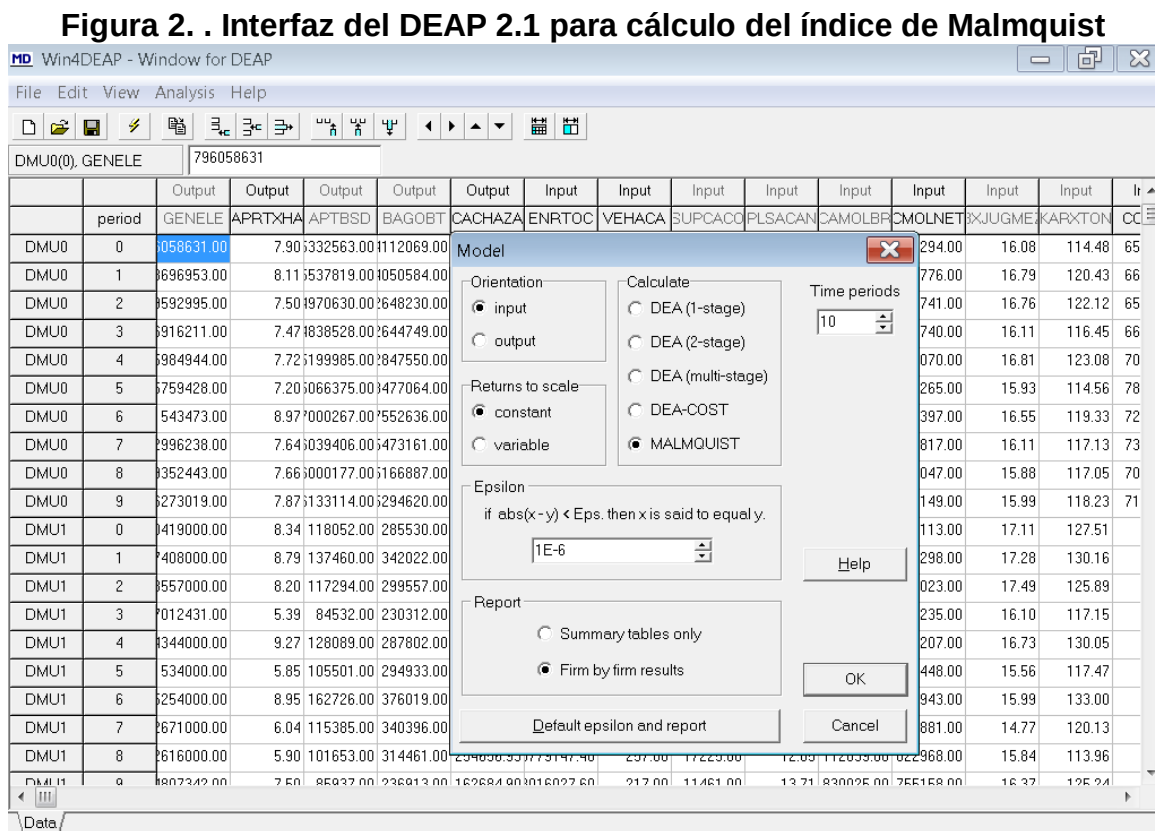
El tiempo perdido total de las horas de zafra y es la sumatoria del tiempo perdido en fábrica, tiempo perdido por personal, tiempo perdido por días festivos, tiempo perdido en campo y el tiempo perdido por lluvias.

3.6. Software utilizado en la estimación de los índices

Para la estimación de los índices de interés se trató con varios softwares. El Stata en su versión 13 incorpora solo la metodología del análisis de frontera estocástica pero no el análisis de datos envolventes. Existen algunas aplicaciones desarrolladas como “complementos” de Stata desarrolladas por usuarios, pero presentan fallas o “bugs”. La macro del sistema SAS escrita por Emrouznejad y Ho (2011), provista en el capítulo 9 de su libro “Applied operational research with SAS”, no descompone tampoco el índice de Malmquist en los índices de eficiencia técnica y el índice de cambio tecnológico o también llamado índice progreso tecnológico e innovación. Se probó también con el nlogit versión 6

pero tampoco se descompone el índice de Malmquist en los dos índices de interés mencionados anteriormente. Finalmente se optó por utilizar el DEAP 2.1. Éste software descompone el índice de Malmquist en los de eficiencia técnica y cambio tecnológico. Si bien DEAP corre bajo MS DOS, terceros han agregado una interfaz para que corra bajo Windows llamada Win4DEAP, lo que facilita enormemente el cálculo de los índices.

En la Figura 2 se muestra una captura de pantalla con algunos de los datos de panel y la caja de dialogo para hacer el “set up” del modelo.



Fuente: elaboración propia.

Finalmente es necesario llamar la atención sobre la disponibilidad creciente de “paquetes”, que calculan la DEA y una cantidad considerable de indicadores y variaciones de los modelos originales de DEA, que corren en el software CRAN-R que es de acceso abierto. No obstante, su manejo requiere una considerable cantidad de práctica sobre la escritura de comandos e instrucciones por lo que se dejó de lado su uso como opción para el cálculo de los índices de interés.

4. Resultados y discusión

En el presente capítulo se presentan los resultados para la corrida del modelo DEA con datos de panel para las zafras 2006/2007 - 2015/2016. El modelo se corrió utilizando el software DEAP 2.1 de Coelli (1996). El modelo incluyó finalmente dos productos y seis insumos. El modelo DEA ésta orientado al insumo con retornos constantes a escala. Al respecto es importante mencionar que las variables que finalmente se incluyeron en el modelo no se derivan directamente de la caña de azúcar como tal. Por ejemplo, se realizaron corridas incluyendo la sacarosa en caña, Brix en jugo mezclado, el Karbe neto teórico, entre otras. La consecuencia de ello fue que los índices de cambio de la eficiencia técnica, cambio del cambio tecnológico y el de la productividad total de los factores resultaban igual a la unidad o muy cercanos a ella. Esta situación no se observó o no fue evidente al incluir las seis variables incluidas como insumos o inputs y los dos productos u outputs².

4.1. Estadísticas descriptivas

Las estadísticas descriptivas de las variables utilizadas en la investigación se muestran en el Cuadro 5 para el periodo de estudio de 10 años.

Cuadro 5. Estadísticas descriptivas de las variables utilizadas.

Variable	Promedio	Valor máximo	Valor mínimo	Coefficiente de Variación (%)
Azúcar producida por hectárea	8.26	16.54	1.86	32.8
Cachaza	134,153	480,421	11,027	65.2
Energía total consumida	573,740	1,884,582	87,691	51.5
Vehículos de acarreo	308	3071	13	86.0
Caña molida neta	929,659	2,570,587	122,682	51.8
Cortadores	1,348	4,368	24	60.08
Frentes de corte	26	173	2	88.5
Tiempo de zafra perdido	742	2,081	66	47.0

Fuente: adaptado de CONADESUCA (2017).

Nota: la descripción de las unidades de las variables es la dada en el Cuadro 4.

² El concepto de Karbe es altamente técnico y juega un papel central en la determinación del precio referencia para el pago de la tonelada de caña de azúcar al productor. Se usa como una medida de eficiencia. En los Anexos se incluye una nota al respecto.

4.2. Eficiencia técnica

Una vez que se ha realizado la corrida del conjunto de datos de panel utilizando el software DEAP 2.1 a nivel de ingenio azucarero para el periodo de 10 años del estudio se obtienen las siguientes medidas de cambio porcentual en los índices de eficiencia, progreso tecnológico e índice de productividad total de los factores según se muestra en el Cuadro 6. Si la medida de cambio porcentual en el caso del cambio tecnológico, es negativa se tratará de una regresión tecnológica. Los ingenios se encuentran ordenados de mayor a menor utilizando como criterio el cambio en la productividad total de los factores.³

Cuadro 6. Medidas de cambio porcentual acumulativo en los componentes de la productividad total de los factores

No.	Ingenio	Cambio en la eficiencia (%)	Cambio en innovación y cambio tecnológico (%)	Cambio en la productividad total de los factores (%)
1	El Dorado	4.6	22.5	28.1
2	Tres Valles	-1.3	13.3	11.8
3	El Carmen	5.0	1.1	6.2
4	El Potrero	-5.3	11.1	5.2
5	Azsuremex	3.1	1.3	4.5
6	Central Motzorongo	-2.7	6.5	3.7
7	El Mante	-2.2	6.1	3.7
8	San Miguelito	-1.8	5.3	3.5
9	Lázaro Cárdenas	0.0	3.0	3.0
10	Central Casasano	0.0	2.8	2.8
11	El Molino	-3.2	6.0	2.6
12	Santa Clara	-2.4	5.1	2.6
13	El Refugio	2.6	-0.2	2.4
14	El Higo	-3.4	5.7	2.1

continua...

³ La expresión en porcentaje de los índices de cambio en la eficiencia, progreso tecnológico y de productividad total de los factores se hizo siguiendo a Coelli *et al* (1998, pp. 306 - 307) para facilitar la interpretación de los mismos. La tabla con los índices tal como los proporciona el software DEAP 2.1 se encuentran en el Anexo C. Estos resultados corresponden a la media geométrica de los nueve periodos que se tiene entre las 10 zafras de estudio. La media geométrica es dada directamente por el DEAP 2.1.

Medidas de cambio porcentual acumulativo en los componentes de la productividad total de los factores (....continuación)

No.	Ingenio	Cambio en la eficiencia	Cambio en innovación y cambio tecnológico	Cambio en la productividad total de los factores
		(%)	(%)	(%)
15	Constancia	-1.9	4.1	2.0
16	Pedernales	-1.7	3.4	1.7
17	San José de Abajo	-2.5	4.2	1.6
18	Aarón Sáenz Garza	-3.3	4.9	1.5
19	Pujilic	-7.2	9.3	1.4
20	El Modelo	-8.0	9.4	0.7
21	San Pedro	-2.9	3.7	0.7
22	Cuatotolapam	-2.5	3.2	0.6
23	Tala	-4.7	5.5	0.5
24	Emiliano Zapata	-4.8	5.4	0.3
25	Plan de Ayala	-2.6	2.8	0.1
26	Alianza Popular	-3.0	3.1	0.0
27	Mahuixtlán	-1.3	0.8	-0.4
28	La Gloria	-6.9	6.9	-0.5
29	Melchor Ocampo	-2.3	1.8	-0.5
30	Tamazula	-3.8	3.4	-0.5
31	Atencingo	-12.2	13.0	-0.7
32	San Francisco Ameca	-3.7	3.1	-0.7
33	Huixtla	-5.9	5.4	-0.8
34	Quesería	-5.7	5.2	-0.8
35	Puga	-2.6	1.6	-1.1
36	Pres. Benito Juárez	-5.5	4.0	-1.8
37	Adolfo López Mateos	-8.6	7.0	-2.2
38	La Margarita	-6.6	4.5	-2.3
39	San Cristóbal	-10.6	9.1	-2.5
40	Central Progreso	-3.9	1.2	-2.7
41	Bellavista	-4.5	1.6	-2.9
42	José María Morelos	-6.9	4.3	-2.9
43	Plan de San Luis	-6.8	4.0	-3.1
44	Central La Providencia	-5.6	2.5	-3.2
45	San Rafael de Pucté	-6.0	2.8	-3.3
46	Santa Rosalía	-5.3	2.2	-3.3
47	San Miguel del Naranjo	-8.0	4.5	-3.9
48	La Joya	-4.1	-0.4	-4.5
49	San Nicolás	-8.4	3.6	-5.1
50	Pánuco	-6.9	1.8	-5.2
51	Promedio	-3.9	4.8	0.7

Fuente: elaborado en base al Anexo C.

Es posible observar que los dos ingenios con el más alto porcentaje de cambio en el índice de productividad total de los factores son El Dorado con el 28.1% y Tres Valles con 11.8%. El Dorado se ubica en Sinaloa y Tres Valles en Veracruz. La contribución al alto porcentaje de cambio en la productividad total de los factores en El Dorado se da por el lado del progreso tecnológico e innovación (22.5%); es decir, por saltos de la frontera de producción a través del tiempo. En el caso del ingenio Tres Valles la mayor contribución a la productividad total de los factores fue a través del cambio tecnológico e innovación (13.3%) aun cuando el cambio en su eficiencia a través del tiempo fue negativa (-1.3%)⁴.

En contraste a lo anterior, varios ingenios registraron en el periodo de estudio una productividad total de los factores negativa que puede ser resultado de ineficiencia técnica como de un retroceso tecnológico en la misma dirección o de una dirección opuesta entre ambos. Los casos más evidentes con una productividad total de los factores negativa son los ingenios de San Nicolás y Pánuco. En el caso del San Miguel del Naranjo su ineficiencia técnica fue de -8.4% no obstante que tuvo un progreso tecnológico de 3.6%. En el caso del ingenio Pánuco fue el que tuvo la productividad total de los factores más baja con -5.2% resultado de una ineficiencia técnica de -6.9% y un cambio tecnológico del 1.8%. La productividad total de los factores negativa implica que en el periodo de estudio no se obtuvo la producción de azúcar base estándar por hectárea que podría haberse obtenido con los insumos utilizados en el proceso productivo.

Del análisis en el Cuadro 6 de los resultados del índice Malmquist de la productividad total de los factores que proporciona el DEAP para los ingenios azucareros, se observa que 25 de éstas unidades de toma de decisiones se encuentran por encima de la frontera eficiente,

⁴ La forma en que se obtuvieron los porcentajes de los tres índices se ejemplifica con Aarón Sáenz Garza (ASG, numerado como 18 en el Cuadro 4.2). Los índices son la media geométrica de los nueve datos que arroja el DEAP 2.1. De esta manera para el ingenio ASG el promedio geométrico del cambio en la eficiencia es: $\sqrt[9]{(0.843)(1.014)(0.710)(1.263)(0.728)(1.472) * (0.653)(1.014)(1.363)} = 0.967$. Ahora, bien para obtener el porcentaje del 4.2 de -3.3 se obtuvo como: $(0.967 - 1) = -0.033$, que al multiplicarse por 100 permite obtener -3.3% que es el cambio promedio de la eficiencia del ingenio ASG. El promedio geométrico de los 50 ingenios que arroja el DEAP también se obtiene de la misma manera. Obsérvese que los índices todos son estrictamente positivos y solo el porcentaje es negativo, en su caso. Los índices de cambio tecnológico y el de la productividad total de los factores también son promedios geométricos. Debe señalarse que una de las propiedades de la media geométrica es que sirve para sacar promedios para porcentajes.

una se encuentran sobre la misma y 24 ingenios azucareros se encuentran por debajo de la frontera eficiente.

En el caso del comportamiento de la agroindustria como un todo y por periodo, los cambios de los índices de eficiencia, progreso tecnológico e índice de Malmquist de productividad total de los factores se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Cambios en la productividad total de los factores

Periodo	Cambio en la eficiencia	Cambio en el progreso tecnológico	Cambio en la productividad total de los factores
(1) 2006/2007-2007/2008	1.180	0.962	1.136
(2) 2007/2008-2008/2009	0.903	1.280	1.156
(3) 2008/2009-2009/2010	0.922	0.886	0.817
(4) 2009/2010-2010/2011	0.907	1.335	1.210
(5) 2010/2011-2011/2012	0.932	0.872	0.813
(6) 2011/2012-2012/2013	1.077	0.984	1.060
(7) 2012/2013-2013/2014	0.970	0.920	0.882
(8) 2013/2014-2014/2015	0.988	1.032	1.020
(9) 2014/2015-2015/2016	0.813	1.283	1.042
Promedio	0.961	1.048	1.007

Fuente: elaborado en base al Anexo C.

Utilizando como criterio el índice de la productividad total de los factores se puede señalar lo siguiente. En el cuadro se observa que en seis de los nueve periodos del estudio la agroindustria de la caña de azúcar estuvo por encima de la frontera eficiente mientras que en tres estuvo por debajo de la frontera eficiente. En promedio podría considerarse que la agroindustria de la caña de azúcar se encuentra sobre la frontera eficiente dado que el cambio promedio la productividad total de los factores es de 1.007

Al seguir la interpretación de Färe et al (1994, pp. 77-78) para el índice de cambio en la eficiencia técnica tenemos que en el caso de que éste índice sea mayor que la unidad es indicativa de que la agroindustria de la caña de azúcar se mueve hacia la frontera eficiente como ocurre en el caso de los periodos (1) y (6). En el mismo tenor, si el índice de cambio en el progreso tecnológico es mayor que la unidad, existe evidencia de innovación; como en los periodos (2), (4), (8) y (9). En el caso de que el índice sea menor que la unidad,

implica que hay una regresión tecnológica. En el caso de la regresión es notable el periodo (5), donde el índice fue de 0.873.

En el caso del cambio índice de la productividad total de los factores implica que, si este es mayor que la unidad, entonces se tuvo una mejora en la productividad y si es menor que la unidad implica que no se ha alcanzado a producir todo el producto que con los insumos disponibles se puede obtener potencialmente. Hay tres periodos notables de crecimiento de la productividad total de los factores es importante: (1), (2) y (4).

En la Grafica 3 se muestra el comportamiento del cambio en el índice de la productividad total de los factores. En dicha grafica se observa que el índice de Malmquist muestra una tendencia a decrezca la productividad total de los factores.

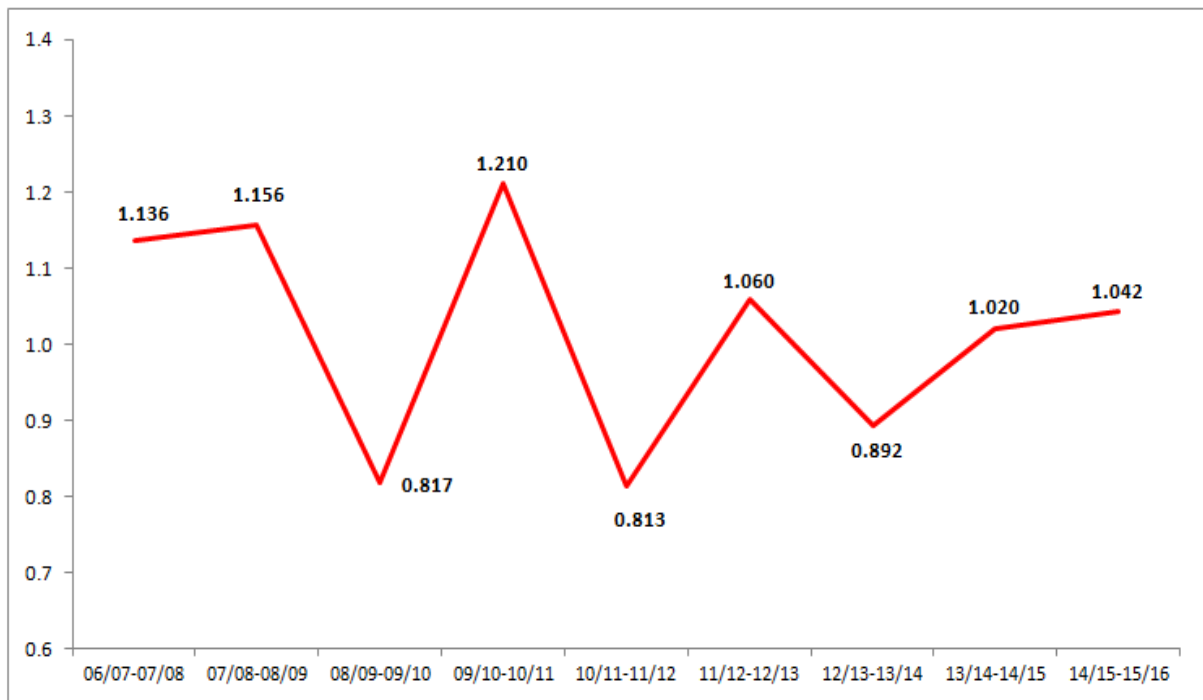


Gráfico 3. Comportamiento de cambio en la productividad total de los factores de la agroindustria de la caña de azúcar en México

Fuente: elaborado en base al Anexo C.

En este punto es necesario realizar la siguiente observación. Färe *et al* (1994) menciona que mientras el índice Malmquist de la productividad total de los factores es igual a la media geométrica del cambio en la eficiencia y el cambio del progreso tecnológico, a la vez éstos

dos componentes se pueden estar moviendo en direcciones opuestas. En la presente investigación esto ocurre en ocho de los nueve periodos. El caso más notable ocurre en el periodo 2009/2010-2010/2011. En tal periodo el índice de Malmquist de la productividad de los factores es de 1.210. El cuál es la media geométrica de la eficiencia técnica de 0.907 y del cambio tecnológico de 1.335. Pero obsérvese que el primero es menor que la unidad y el segundo mayor que la unidad. En el siguiente apartado se realiza también el análisis del comportamiento de los tres índices, pero en términos de porcentajes, lo cual facilita su entendimiento.

4.3. Desempeño de la agroindustria de la caña de azúcar

Análogamente al caso del cambio en la eficiencia, el progreso tecnológico y la productividad total de los factores, es posible mostrar cómo se desempeñó la agroindustria de la caña de azúcar en las distintas zafras durante el periodo de estudio. Al igual que en el caso por ingenio, el indicador se expresa como una medida de cambio porcentual acumulativo según se muestra en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Medidas de cambio porcentual acumulativo en los componentes de la productividad total de los factores entre periodos.

Periodo interzafra	Cambio en la eficiencia (%)	Cambio en innovación y cambio tecnológico (%)	Cambio en la productividad total de los factores (%)
(1) 2006/2007-2007/2008	18.0	-3.8	13.6
(2) 2007/2008-2008/2009	-9.7	28.0	15.6
(3) 2008/2009-2009/2010	-7.8	-11.4	-18.3
(4) 2009/2010-2010/2011	-9.3	33.5	21.0
(5) 2010/2011-2011/2012	-6.8	-12.8	-18.7
(6) 2011/2012-2012/2013	7.7	-1.6	6.0
(7) 2012/2013-2013/2014	-3.0	-8.0	-10.8
(8) 2013/2014-2014/2015	-1.2	3.2	2.0
(9) 2014/2015-2015/2016	-18.7	28.3	4.2
Promedio	-3.9	4.8	0.7

Fuente: elaborado en base al Anexo A.

Nota: el cambio se refiere al periodo entre una y otra zafra por lo que solo se tienen nueve periodos y no 10 años.

Este gráfico da una visión completa de cómo se ha desempeñado la productividad total de los factores, la eficiencia técnica y el cambio tecnológico a lo largo del periodo de estudio. Varios resultados. Entre las zafras 2009/2010-2010/2011 en toda la agroindustria se tuvo una ineficiencia del 9.3%. En cambio, se tuvo que la innovación y cambio tecnológico creció en 33.5%. Por lo que la productividad total de los factores fue de 21.9% en el periodo entre zafras.

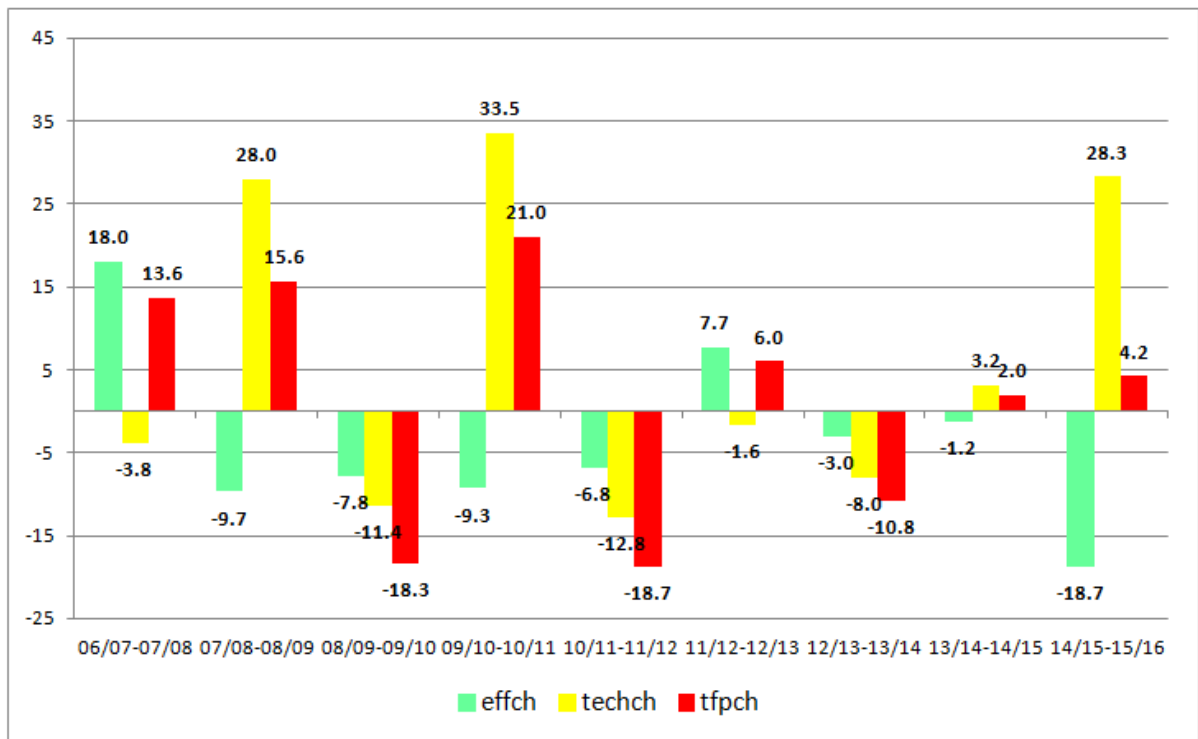


Gráfico 4. Productividad total de los factores, la eficiencia técnica y el cambio tecnológico 2006/2007 – 2015/2016

Fuente: elaborado en base al Anexo C.

4.4. Discusión de los resultados

Al comparar los resultados obtenidos para el análisis de la productividad total de los factores y su descomposición en los otros dos indicadores de México para el periodo de estudio se debe matizar que no necesariamente los índices obtenidos para otros países son directamente comparables por dos razones. En algunos estudios los índices de productividad y eficiencia se obtienen mediante la metodología paramétrica del análisis de frontera estocástica (SFA) y, quizás más importante, los productos e insumos (output e

input) utilizados para correr el modelo de programación lineal del análisis envolvente de datos no necesariamente son los mismos utilizados para obtener los índices de productividad y eficiencia relativa. A continuación, se discuten los resultados obtenidos para la agroindustria de la caña de azúcar de México contra los resultados promedio de cinco países.

Para poder comparar y discutir las estimaciones obtenidas para México, en el Cuadro 9 se presentan los resultados de cuatro países que utilizan datos de panel y procedimiento similar para estimar los índices de la productividad total de los factores y los dos en los que se descompone este indicador (eficiencia técnica y progreso tecnológico).

Cuadro 9. Cambios en la productividad de la caña de azúcar varios países

Región	Cambio en la eficiencia técnica	Cambio en el progreso técnico	Cambio en la productividad total de los factores	Año de estudio	Orientación
China	1.002	0.880	0.894	2004 - 2013	Input
India	1.005	0.988	0.993	2004/05 - 2013/14.	Input
México	0.961	1.048	1.007	2006/07 – 2015/16	Input
Pakistán	0.992	1.008	0.999	1998 - 2007	Output
Sudán	1.002	1.125	1.127	1999 - 2007	Output

Fuente: elaboración propia.

En el caso de la evaluación del cambio en la productividad, eficiencia técnica y cambio tecnológico en China realizado por Yet *et al* (2016), que utiliza datos de panel para un periodo de 10 años de la agroindustria de la caña de azúcar de las principales cuatro regiones productoras de ese país, la productividad total de los factores tuvo un retroceso, pues la tasa de crecimiento media fue de -10.6% por año. Esta regresión de acuerdo con Yet *et al* (2014) menciona que se debió exclusivamente a la regresión tecnológica del -12.0% por año mientras que la eficiencia técnica creció en promedio en 0.2% por año⁵.

⁵ La interpretación que en este apartado se da a los índices es como sigue: si alguno de los índices es igual a 1, entonces se dice que la tasa de crecimiento del índice en cuestión habrá sido igual a cero; es decir, no existió ni crecimiento ni regresión. Si el índice mayor que la unidad se dice entonces que el respectivo índice tuvo una tasa de crecimiento medio anual del respectivo porcentaje. Si el índice es menor que 1 entonces se dice que el respectivo índice habrá crecido a una tasa negativa del respectivo índice o que existió una regresión.

Para la India, Singh (2016) calculó los indicadores para el periodo 2004/05 - 2013/14 de 40 compañías azucareras. En las conclusiones de la referida investigación se dice que la tasa de crecimiento de la productividad total de los factores en la agroindustria azucarera hindú fue negativa; es decir, para el periodo de estudio fue de - 0.7%. La descomposición del índice de la productividad total de los factores muestra que la tasa de crecimiento negativa de éste indicador es debido a la regresión tecnológica, pues su índice para el caso hindú, tuvo una tasa de crecimiento media por año negativa de 1.2% mientras que el índice de cambio en la eficiencia técnica muestra que ésta creció en 0.5%.

En el caso de Pakistán, Raheman *et al* (2009) calcularon los tres indicadores que se pueden estimar con el índice de Malmquist para agroindustria cañera de Pakistán para el periodo 1998 - 2007 de 20 ingenios cañeros. Para este país el índice de la productividad total de los factores decreció en -0.1%, que es explicado porque la eficiencia técnica decreció en -0.8% y la tasa crecimiento del progreso técnico fue de 0.8% por año.

En el caso de Sudán Bushara y Abu-Sin. (2016) calcularon los tres indicadores que derivan a partir del índice de Malmquist se estimaron para la agroindustria de la caña de azúcar para el periodo 1999 – 2007. Los índices fueron calculados para cuatro ingenios azucareros. La tasa de crecimiento de la productividad total de los factores para este país fue de 12.7% por año, la tasa de crecimiento de la eficiencia técnica de 0.2% y la tasa de cambio tecnológica creció en 12.5% por año.

Al comparar los resultados promedio de México se observa que los resultados para los tres índices son muy similares con los otros países, a excepción de China donde el índice de la productividad total de los factores es muy diferente mostrando un retraso tecnológico. Es también de destacarse que para China e India los índices están orientados al input, mientras que Pakistán y Sudán los índices fueron calculados con orientación al output. De los países con los que se comparan los resultados de México, a excepción de Sudán, los otros tres mantienen una participación importante en la producción mundial de caña de azúcar, manteniéndose entre los primeros ocho lugares en términos de producción, superficie y rendimiento.

Finalmente, es importante señalar que, para el caso de los Estados Unidos, no hay información disponible sobre los ingenios azucareros individualmente. Tampoco se localizaron estudios que utilicen la metodología del análisis envolvente de datos, excepto para alguno que utiliza la metodología del análisis estocástico de frontera, que sin embargo no contiene los índices calculados de forma análoga como se obtiene con la DEA.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

La agroindustria de la caña de azúcar en México es importante en términos de la generación de empleos directos e indirectos en las 15 entidades donde se cultiva, así como por los encadenamientos que generan los ingenios azucareros en las economías locales donde se localizan.

El análisis del conjunto de datos de panel para la caña de azúcar para el periodo 2016/07 - 2015/2016 utilizando el índice de Malmquist para estimar la productividad total de los factores muestra que en promedio la agroindustria de la caña de azúcar ha estado sobre la frontera eficiente de producción. El índice de la TFP en promedio para el periodo de 10 años fue de 1.007.

En el análisis por periodos los índices de cambio en la eficiencia técnica y cambio tecnológico muestran que en seis de los nueve periodos éstos índices se mueven en direcciones opuestas; es decir en un mismo periodo puede haber una mejora en la eficiencia (índice mayor que 1) pero al mismo tiempo darse una regresión tecnológica (índice menor que 1) o viceversa. La excepción son los periodos (3), (5) y (7).

A nivel de unidades de toma de decisiones, el ingenio El Dorado destaca en el periodo de estudio porque su eficiencia productiva mejoro en 4.6% y el cambio tecnológico muestra la incorporación de innovaciones pues el análisis en términos de cambio porcentual acumulativo del índice de innovación y cambio tecnológico fue de 22.5% en el periodo de estudio. La productividad total de los factores creció en 28.1%. Destacan también los ingenios de Tres Valles, y El Carmen cuyos índices también crecieron en el periodo de estudio.

El ingenio con un desempeño no satisfactorio en términos de la productividad total de los factores y su eficiencia técnica fue el ingenio Pánuco cuyo crecimiento acumulativo fue negativo para su eficiencia fue de -6.9% y una productividad total de los factores de -5.2% aun cuando tuvo un índice de cambio tecnológico e innovación de 1.8%.

El promedio de los tres indicadores, correspondiente a la media geométrica y proporcionados por el propio programa DEAP, resultaron ser: la eficiencia técnica tuvo un crecimiento acumulativo de -3.9%, un crecimiento acumulativo del cambio tecnológico e innovación de 4.8% y por lo tanto su productividad total de los factores de 0.7%.

La discusión de los resultados obtenidos para México con otros cuatro países permite observar que las magnitudes de los índices para la productividad total de los factores, eficiencia técnica y cambio tecnológico son similares, excepto para China en cuyo caso se observa que la regresión tecnológica en el periodo de estudio respectivo fue de 12% por año.

Las estimaciones de los tres índices se realizaron con el DEAP 2.1 que fue liberado en 1996, por lo que no incorpora inferencia estadística para las estimaciones puntuales. Existe una buena cantidad de programas comerciales y de libre acceso que calculan una importante cantidad de indicadores e índices que incorporan los desarrollos teóricos del análisis de eficiencia en sus dos vertientes (análisis envolvente de datos y de análisis de frontera estocástica) e incorporan análisis de inferencia estadística, pero la falta de libros y materiales en español limitan su aprendizaje. Es de destacar el caso del software de libre acceso CRAN-R cuyo crecimiento es exponencial en todas las áreas incluyendo la de análisis de eficiencia relativa. El propio Sistema SAS en las versiones recientes incorpora una interfaz que llama a los paquetes y código del CRAN - R y los ejecuta internamente.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda obtener intervalos de confianza para los estimadores del índice de la productividad de los factores, así como prueba de hipótesis para probar la significancia estadística de los mismos para lo cual se recomienda utilizar el método de remuestreo bootstrap (resampling bootstrap).

Es necesario realizar un análisis exploratorio de la información existente en las fuentes oficiales de la caña de azúcar para probar la “veracidad” de las estadísticas reportadas como

oficiales por el CONADESUCA a través de estudios e investigaciones de carácter aplicado o académico.

Se debe profundizar en el conocimiento de la ingeniería de la caña de azúcar para determinar hasta qué grado las variables técnicas como la sacarosa en caña, bagazo obtenido, fibra en caña, miel final 85° Brix por tonelada de caña, entre otras, influyen en la eficiencia relativa de los ingenios azucareros además de las variables no derivadas directamente de la propia caña de azúcar, por ejemplo la cantidad de petróleo o electricidad consumidos en el proceso productivo o las variables de administración y manejo como vehículos de acarreo, etc.

Es recomendable aplicar la metodología de la DEA donde la reducción del producto no deseado (cachaza) no sea considerado un producto deseable, sino que dicho producto no deseado, pues la cachaza puede considerarse un “mal”.

Bibliografía

Albino, O., T., B., Cezar, B., A., Ramos, S., S. de F., Wagner, de O., M. and Matos, D., A. (2012). **The producción efficiency in sugarcane farms**. In Rajiv Banker, Ali Emrouznejad, Ana Lúcia Miranda Lopes and Mariana Rodrigues de Almeida Editors: *Data Envelopment Analysis: Theory and Applications*. Proceedings of the 10th International Conference on DEA, pp. 268 – 276, Brazil.

Baltagi, Badi, H. (2005). *Econometric analysis of panel data*. Third edition, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, South-East England.

Banker, R. D. (1984). Estimating most productive scale size using data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research* 17: 35-44.

Banker, R. D., Charnes, A. & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092.

Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W.W. (1984). Models for the estimation of technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science* 30: 1078 – 1092.

Barrios Castillo, G. Y. (2007). La medición de la eficiencia técnica en la producción de caña de azúcar mediante el Análisis Envolvente de Datos. Disponible en <http://centroazucar.uclv.edu.cu/media/articulos/PDF/2007/4/1.pdf>.

Battese, G. E. and Coelli, T.J. (1991). Frontier production function, technical efficiency and panel data: with application to paddy farmers in India. Dep. Econ. Working Paper in Econometrics and Applied Statistics 56, University of New England, Armidale, Australia.

Bogetoft, P. and Otto, L. (2011). *Benchmarking with DEA, SFA, and R*. International Series in Operations Research & Management Science Volume 157. New York: Springer

Bushara, M. and Abu Sin, A. M. (2016). Evaluation of total factor productivity of Sudanese sugar company farms: A Non-parametric Analysis 1999-2007. *Arabian Journal of Business and Management Review* 6(3). DOI: 10.4172/2223-5833.1000211

Caves, Douglas W.; Christensen, Laurits R. and Diewert, W. Erwin (1982a). Multilateral comparisons of output, Input, and productivity using superlative index numbers. *Economic Journal* 92(365), pp. 73-86.

Caves, Douglas W.; Christensen, Laurits R. and Diewert, W. Erwin (1982b). The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity. *Econometrica* 50(6), pp. 1393-1414.

Chaitip, Prasert, Chukiat, Chaiboonsri and Inluang, Fawikorn (2014). The Production of Thailand's Sugarcane. Using Panel Data Envelopment Analysis (Panel DEA) Based Decision on Bootstrapping Method. *Procedia Economics and Finance* 14: 120 – 127.

Charnes, A, Cooper, W. W. & Rhodes E. L. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.

Charnes, A., Cooper W.W, Lewin, A.Y. and Seiford, L.M. (eds) (1994). Data envelopment analysis. Theory, methodology, and application. Springer Science+Business Media, LLC.

Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research* (1978), 2(6): 429-444.

Coelli, T. (1996). A guide to DEAP. Version 2.1: a data envelopment analysis (computer) program. Centre for Efficiency and Productivity Analysis, University of New England, Australia.

Coelli, T.J., Rao, P., O'Donnel, D.S., and Battese, G. E. (2005). An Introduction to efficiency and productivity analysis. Boston, Massachusetts, USA: Kluwer Academic Publisher.

CONADESUCA (2016). Informe estadístico del sector agroindustrial de la caña de azúcar en México Zafras 2008-2009/2014-2015. Ciudad de México, México.

CONADESUCA (2017). Informe estadístico del sector agroindustrial de la caña de azúcar en México Zafras 2006-2007/2015-2016. Ciudad de México, México. Disponible en <https://www.gob.mx/conadesuca/articulos/informe-estadistico-del-sector-agroindustrial-de-la-cana-de-azucar-en-mexico-zafras-2006-2007-2015-2016?idiom=es>. Consultado 29 de abril de 2018.

Emrouznejad, A. and Ho W. (2011). Applied Operations Research with SAS, pp. 284, Hardback, CRC Press: Taylor & Francis Ltd

Fare, R. and Grosskopf, S. (2000). Theory and applications of directional distance functions. *Journal of Productivity Analysis* 13: 93–103, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, USA.

Fare, R., Grosskopf, S. and Whittaker, G. (2018). Distance functions with applications to DEA. In Emili Grifell Tatjé, Knox Lovell and Robin C. Sicides (Eds), pp. 139 – 152, *The Oxford Handbook of Productivity Analysis*. Oxford University Press, NY, USA.

Fare, R., Grosskopf, S., Norris, M. and Zhang, Z. (1994) Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Change in Industrialized Countries. *American Economic Review*

Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A* 120, pp. 253-81.

Huguenin, J. M. (2012). Data Envelopment Analysis (DEA). A pedagogical guide for decision makers in the public sector. Institut de Hautes Études en Administration Publique (IHEAP). Laussane, Swiis.

Johnson, J. L., Zapata, H. O. and Heagler A. M. (1995). Technical efficiency in Louisiana sugar cane processing. *Journal of Agribusiness* 13(2): 84-98.

Kumar, Sunil and Arora, Nitin (2012). Evaluation of technical efficiency in Indian sugar industry: An application of full cumulative data envelopment analysis. *Eurasian Journal of Business and Economics* 5 (9): 57-78.

Lee, K. R. and Leem, B. I. (2010). Malmquist Productivity Index using DEA frontier in Stata. *The Stata Journal* 2(2):1 – 9.

Malmquist, S. (1953). Index numbers and indifference curves. *Trabajos de Estadística* 4(1), pp. 209-42.

Martínez-Damián, M., & Brambila-Paz, J., & García-Mata, R. (2013). Índice de Malmquist y productividad estatal en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 10 (3), 359-369.

Nanda Anggiadita, Nanda and Sujarwo (2016). "Technical efficiency analysis of sugar cane production in Sutojayan Village, Pakisaji Sub-District, Malang, East-Java, Indonesia". *Agricultural Socio-Economics Journal*, Vol. XVI, No. 02: 45-51.

Raheman, A., Qayyum, A. y Afza, T. (2009). Efficiency dynamic of sugar industry of Pakistán. *The Pakistan Development Review* 48 (4): 921 – 938. DOI: 10.30541/v48i4Ipp.921-938.

Rein, Peter (2012). Ingeniería de la caña de azúcar. Editado por Verlag Dr. Albert Bartens KG – Berlin.

SAGARPA (2005). Ley de desarrollo sustentable de la caña de azúcar. Diario Oficial de la Federación (DOF) del 22 de agosto de 2005. México, D.F.

SAGARPA-CONADESUCA (2014). Programa nacional de la agroindustria de la caña de azúcar. Diario Oficial de la Federación (DOF) del 2 de mayo de 2014. México, D.F.

Sengupta, A. K. (1999). A dynamic efficiency model using data envelopment analysis. *International Journal of Production Economics* 62: 2009 – 2018.

Shephard, R. W. (1970). Theory of cost and production function. Princeton: Princeton University Press.

Sing, S P. (2016). Technical change and productivity growth in the Indian sugar industry. *Procedia Economics and Finance* 39: 131 – 139. Disponible en: www.sciencedirect.com.

Thanassoulis, E., (2001), Introduction to the theory and application of Data Envelopment Analysis, A foundation text with integrated software. (Norwell,Massachussetts: Kluwer Academic Publishers.

Unión de Nacional de Cañeros (UPC-CNPR) (2017). Estadísticas de la agroindustria de la caña de azúcar 2007-2017. Decima Quinta Edición, México, D.F.

Ye, J., Que, Y. X., Li, Y. R. and Xu, L. P. (2016). Evaluating sugarcane productivity in China over different periods using data envelopment analysis and the Malmquist index. Sugar Tech 18: 478. <https://doi.org/10.1007/s12355-016-0427-0>

Zhu, J. (2013). Quantitative models for performance evaluation and benchmarking. Data envelopment analysis with spreadsheets. New York: Springer.

Anexos

Anexo A. Definición del KARBE

El CONADESUCA (2016, pp. 521, 526-527) define el KARBE bruto teórico por ingenio como el resultado de multiplicar la Pol por ciento caña por la eficiencia base de fábrica por el factor fibra, por el factor pureza, por el factor de polarización del azúcar estándar. El Karbe Bruto teórico considerará hasta seis decimales para el cálculo de KARBE neto teórico. El KARBE neto teórico por ingenio es el resultado de multiplicar el KARBE bruto teórico por la caña molida bruta, todo dividido entre la caña molida neta. El KARBE neto teórico considerara sólo tres decimales para el cálculo del azúcar KARBE.

La fórmula para el cálculo del KARBE bruto teórico por ingenio es:

$$Pol\%caña * Eficiencia \text{ base de fábrica} * Factor \text{ fibra} * Factor \text{ pureza} * Redondear\left(\frac{10}{99.4}, 6\right)$$

Donde:

- a) $Factor \text{ fibra} = Redondear\left(1.085966 - \frac{0.519 * Fibr\%Caña}{100 - Fibr\%Caña}, 6\right)$
- b) $Factor \text{ pureza} = Redondear\left(1.085966 - \left(1.4 - \frac{40}{Pureza \text{ a par ente jugome zclado}}\right), 6\right)$
- c) Eficiencia base de fábrica = 82.370

El KARBE bruto teórico considera hasta seis decimales para el cálculo de KARBE neto teórico.

Ahora bien, la fórmula para el cálculo del KARBE neto teórico por ingenio es:

$$\frac{KARBE \text{ bruto teórico} * Caña \text{ molida bruta}}{Caña \text{ molida neta}}$$

Como se hizo referencia anteriormente, Johnson *et al.* /1995) mencionó que el llamado “factor de liquidación” era una medida de la eficiencia técnica utilizada (para la época de su estudio) por las factorías de caña de azúcar de Lusiana pero señala que este índice es de valor limitado como una medida de desempeño. En primer lugar, porque su interpretación es algo subjetiva, debido a que tal índice no está constreñida al intervalo entre cero y la unidad y por lo tanto tiene un límite superior abierto y porque tal índice solo considera solo uno de los insumos usados en la producción de azúcar cruda, ignorando los otros insumos en la función de producción. Por lo tanto, el “factor de liquidación” como medida de eficiencia carece de justificación económica formal. Para la zafra 2015/2016 I KARBE teórico bruto y neto son los siguientes:

Cuadro 10. KARBE teórico bruto y neto

Ingenio	KARBE/tonelada de caña bruta teórica	KARBE/tonelada de caña neta teórica
	(kg)	(kg)
1 Aarón Sáenz Garza	113.941	125.237
2 Adolfo López Mateos	108.905	114.806
3 Alianza Popular	120.528	125.510
4 Atencingo	127.014	128.435
5 Azsuremex	87.629	87.629
6 Bellavista	120.255	123.919
7 Central Casasano	135.046	135.046
8 Central La Providencia	109.010	113.223
9 Central Motzorongo	109.846	113.905
10 Central Progreso	126.804	126.844
11 Constancia	107.468	112.500
12 Cuatotolapam (CIASA)	118.447	122.775
13 El Carmen	99.589	102.410
14 El Higo	108.892	115.327
15 El Mante	105.705	115.720
16 El Modelo	106.740	110.623
17 El Molino	119.257	121.892
18 El Potrero	119.905	123.281
19 El Refugio	108.323	112.398
20 El Dorado	96.634	102.704
21 Emiliano Zapata	141.347	141.347
22 Huixtla	94.781	103.709
23 José María Morelos	101.824	104.977
24 La Gloria	111.055	115.124
25 La Joya	105.993	109.824

continua ...

KARBE teórico bruto y neto (... continuación)

Ingenio	KARBE/tonelada de caña bruta teórica	KARBE/tonelada de caña neta teórica
	(kg)	(kg)
27 Mahuixtlán	104.510	110.022
28 Melchor Ocampo	117.392	122.379
29 Pablo Machado (La Margarita)	117.248	121.016
30 Pánuco	115.817	122.195
31 Pedernales	116.410	119.024
32 Plan De Ayala	109.670	115.068
33 Plan De San Luis	122.159	128.602
34 Presidente Benito Juárez	104.542	112.323
35 Puga	118.809	121.987
36 Pujilic (Cia. La Fe)	119.896	121.722
37 Quesería	112.024	116.000
38 San Cristóbal	108.977	113.084
39 San Francisco Ameca	115.450	119.824
40 San José de Abajo	111.020	115.156
41 San Miguel del Naranjo	116.491	121.614
42 San Miguelito	106.517	109.031
43 San Nicolás	105.833	111.011
44 San Pedro	103.002	108.250
45 San Rafael de Pucté	96.342	102.060
46 Santa Clara	109.368	112.521
47 Santa Rosalía	106.783	110.825
48 Tala (Jóse Ma. Martínez)	117.584	122.301
49 Tamazula	129.459	133.856
50 Tres Valles	114.641	119.787

Fuente: CONADESUCA (2017).

De acuerdo a Johnson *et al* (1995) esta medida no considera más que solo un insumo y no está restringida al intervalo cerrado entre cero y la unidad

Anexo B. Obtención de la variable energía total consumida

En el periodo de estudio, las tres fuentes de energía para generar la potencia para realizar la molienda de la caña de azúcar en los ingenios azucareros han sido el petróleo, la energía eléctrica adquirida a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la quema de biomasa de bagazo. En las últimas zafras algunos ingenios han dejado de utilizar petróleo y en su mayoría utilizan una combinación de las mismas. La variable energía consumida es un insumo importante para la obtención de azúcar base estándar por hectárea o del azúcar total base estándar. Por lo que se hizo necesario agregar el petróleo (litros), energía eléctrica (Kw-h) y bagazo (toneladas) en la variable energía consumida total (Kw-h). El procedimiento para convertir la electricidad, petróleo y bagazo a kilowatts por hora y finalmente agregarlas se explica a continuación.

B.1. Energía eléctrica

Un kilowatt por hora (kW-h) equivale a 3,600,000 joules. Como primer paso se convierte la energía eléctrica adquirida por los ingenios azucareros a la CFE de Kw-h a joules y posteriormente a megajoules. A modo de ejemplo, en la zafra 2006/07 la agroindustria nacional de caña de azúcar consumió 52,213,045kW-h de energía eléctrica a la CFE, por lo tanto:

Cuadro 11. Energía eléctrica consumida por los ingenios azucareros a la CFE

Energía consumida a CFE 2006/07 (Kw-h)	Factor de conversión a joules	Energía consumida a CFE 2006/07 (joules)	Energía consumida a CFE 2006/07 (megajoules)
52,213,045	3,600,000	187,966,962,000,000	187,966,962

Fuente: elaborado en base a CONADESUCA (2017) y Rein (2012).

B.2. Petróleo

El procedimiento de la conversión de petróleo a megajoules se explica a continuación. La secuencia de pasos.

Cuadro 12. Procedimiento de la conversión de petróleo a megajoules

Petróleo consumido 2006/07 (litros)	Factor de conversión a barriles	Petróleo consumido 2006/07 (barriles)	Factor de conversión a kilocalorías	Petróleo consumido 2006/07 (kilocalorías)
404,428,679	158.9873	2543779.86	1,469,600	3,738,338,882,100.98

Fuente: elaborado en base a CONADESUCA (2017) y Rein (2012).

Procedimiento de la conversión de petróleo a megajoules (continuación)

Factor de conversión kilocalorías a joules	Petróleo consumido 2006/07 (joules)	Petróleo consumido (megajoules)
4,184	15,641,209,882,706,300	15,641,209,883

Fuente: elaborado en base a CONADESUCA (2017) y Rein (2012).

B.3. Bagazo

En el supuesto de que todo el bagazo obtenido por el ingenio se quema para generar potencia para la molienda de la caña, la conversión a megajoules se muestra a continuación con el ejemplo de bagazo obtenido por la agroindustria nacional en la zafra 2006/07.

Cuadro 13. Conversión de bagazo a megajoules

Bagazo quemado 2006/07 (toneladas)	Factor de conversión a kilocalorías de 1 ton de bagazo	Bagazo quemado 2006/07 (kilocalorías)	Factor de conversión de 1 kilocaloría a megajoules	Bagazo quemado 2006/07 (megajoules)
14,112,069	1,684,990	23,778,695,144,310	0.0041868	99,556,640,830

Fuente: elaborado en base a CONADESUCA (2017) y Rein (2012).

La fuente para la equivalencia energética de una tonelada de bagazo de caña a 1,684,990 kilocalorías es el Diario Oficial de la Federación del 14 de enero de 2010.

B.4. Energía consumida zafra 2006/07

De esta manera, al concentrar las tres fuentes de energía utilizadas en una unidad de energía (megajoules) que las haga comparables tenemos el siguiente resultado y finalmente se convierte la energía consumida a kW-h.

Cuadro 14. Fuentes de energía utilizadas en una unidad de energía

Fuente de energía	Energía consumida 2006/07 (Megajoules)	Factor de conversión 1 megajoule a kW-hora	Energía consumida 2006/07 (kW-hora)
Electricidad CFE	187,966,962	0.27777777777778	52,213,045
Petróleo	15,641,209,883	0.27777777777778	4,344,780,523
Bagazo	99,556,640,830	0.27777777777778	27,654,622,453
Total de energía consumida	99,744,608,685	0.27777777777778	32,051,616,021

Fuente: elaborado en base a CONADESUCA (2017) y Rein (2012).

Anexo C. Resultados de las corridas en el DEAP 2.1

Results from DEAP Version 2.1

Instruction file = \$\$TEMP\$\$\INS

Data file = \$\$TEMP\$\$\DTA

Input orientated Malmquist DEA

DISTANCES SUMMARY

year = 1

firm no.	crs	te	rel to tech in yr	vrs
	*****	*****	*****	te
	t-1	t	t+1	
1	0.000	0.429	0.462	0.534
2	0.000	0.316	0.346	0.512
3	0.000	0.235	0.260	0.459
4	0.000	0.849	0.843	1.000
5	0.000	0.760	0.686	1.000
6	0.000	0.768	0.720	1.000
7	0.000	1.000	1.075	1.000
8	0.000	0.412	0.438	0.599
9	0.000	0.278	0.308	0.426
10	0.000	0.460	0.504	0.648
11	0.000	0.334	0.325	0.598
12	0.000	0.414	0.450	0.819
13	0.000	0.423	0.438	0.580
14	0.000	0.365	0.368	0.558
15	0.000	0.374	0.393	0.594
16	0.000	0.627	0.668	0.703
17	0.000	0.597	0.600	0.766
18	0.000	0.381	0.410	0.542
19	0.000	0.400	0.383	0.701
20	0.000	0.665	0.620	0.793
21	0.000	0.695	0.749	0.725
22	0.000	0.453	0.527	0.642
23	0.000	0.802	0.883	1.000
24	0.000	0.375	0.423	0.447
25	0.000	0.348	0.345	0.795
26	0.000	1.000	0.967	1.000
27	0.000	0.873	0.810	0.945
28	0.000	1.000	1.472	1.000
29	0.000	0.388	0.412	0.606
30	0.000	0.348	0.388	0.495
31	0.000	1.000	1.156	1.000
32	0.000	0.244	0.246	0.542
33	0.000	0.316	0.336	0.535
34	0.000	0.241	0.252	0.517
35	0.000	0.368	0.430	0.553
36	0.000	0.545	0.647	0.615
37	0.000	0.461	0.461	0.558
38	0.000	0.165	0.175	0.324

39	0.000	0.666	0.698	0.735
40	0.000	0.463	0.487	0.659
41	0.000	0.316	0.316	0.496
42	0.000	0.615	0.604	0.761
43	0.000	0.481	0.495	0.716
44	0.000	0.255	0.254	0.442
45	0.000	0.222	0.213	0.394
46	0.000	0.723	0.753	0.794
47	0.000	0.446	0.450	0.831
48	0.000	0.380	0.449	0.516
49	0.000	0.884	0.938	0.884
50	0.000	0.238	0.254	0.422
mean	0.000	0.508	0.538	0.676

year = 2

firm no.	crs te rel to tech in yr *****			vrs te
	t-1	t	t+1	
1	0.360	0.361	0.248	0.439
2	0.264	0.288	0.220	0.342
3	0.247	0.265	0.182	0.365
4	0.969	0.918	0.836	1.000
5	0.683	0.620	0.595	1.000
6	0.778	0.706	0.684	0.988
7	1.151	1.000	1.175	1.000
8	0.671	0.710	0.620	0.838
9	0.393	0.443	0.321	0.452
10	0.538	0.600	0.407	0.733
11	0.631	0.696	0.506	0.793
12	0.347	0.361	0.249	0.720
13	0.566	0.601	0.425	0.744
14	0.496	0.552	0.491	0.596
15	0.361	0.352	0.258	0.622
16	1.171	1.000	1.020	1.000
17	0.673	0.758	0.525	0.809
18	0.941	0.804	0.761	0.998
19	0.484	0.457	0.448	0.685
20	0.759	0.761	0.526	1.000
21	0.719	0.765	0.653	1.000
22	0.541	0.635	0.474	0.698
23	0.951	1.000	0.877	1.000
24	0.486	0.562	0.410	0.578
25	0.357	0.362	0.316	0.842
26	1.129	1.000	0.956	1.000
27	0.978	1.000	0.797	1.000
28	1.181	1.000	1.250	1.000
29	0.356	0.332	0.254	0.460
30	0.363	0.394	0.280	0.400
31	1.042	1.000	0.988	1.000
32	0.394	0.407	0.281	0.470
33	0.290	0.302	0.204	0.403
34	0.236	0.254	0.179	0.518
35	0.395	0.470	0.368	0.533
36	0.520	0.596	0.443	0.744

37	0.510	0.578	0.398	0.601
38	0.165	0.178	0.152	0.271
39	0.894	1.000	0.825	1.000
40	0.554	0.579	0.409	0.795
41	0.360	0.358	0.246	0.385
42	0.857	0.921	0.635	0.931
43	0.598	0.635	0.461	0.808
44	0.270	0.251	0.218	0.544
45	0.249	0.253	0.177	0.483
46	0.820	0.876	0.657	0.878
47	0.425	0.425	0.359	0.826
48	0.611	0.620	0.544	0.621
49	0.748	0.735	0.563	0.778
50	0.203	0.228	0.165	0.294

mean 0.594 0.599 0.501 0.720

year = 3

firm no.	crs te rel to tech in yr *****			vrs te
	t-1	t	t+1	
1	0.481	0.366	0.435	0.522
2	0.350	0.267	0.321	0.449
3	0.377	0.244	0.309	0.445
4	1.075	1.000	1.133	1.000
5	0.650	0.705	0.747	1.000
6	1.131	0.913	0.940	1.000
7	1.550	1.000	1.123	1.000
8	0.618	0.477	0.568	0.742
9	0.399	0.272	0.339	0.416
10	0.551	0.348	0.446	0.599
11	0.599	0.412	0.495	0.628
12	0.643	0.480	0.584	0.863
13	0.466	0.371	0.392	0.485
14	0.592	0.510	0.560	0.675
15	0.581	0.342	0.410	0.606
16	0.953	0.798	0.897	1.000
17	0.774	0.521	0.561	0.743
18	0.772	0.729	0.825	1.000
19	0.783	0.745	0.679	0.956
20	2.285	1.000	1.133	1.000
21	0.850	0.714	0.909	0.751
22	0.626	0.462	0.558	0.644
23	0.821	0.769	0.775	1.000
24	0.544	0.422	0.492	0.472
25	0.315	0.336	0.339	0.589
26	1.431	1.000	1.179	1.000
27	0.849	0.775	0.789	0.902
28	1.467	1.000	1.732	1.000
29	0.551	0.402	0.495	0.756
30	0.458	0.326	0.385	0.427
31	1.663	1.000	1.295	1.000
32	0.394	0.290	0.340	0.629
33	0.456	0.388	0.450	0.695
34	0.536	0.430	0.501	0.960

35	0.499	0.394	0.555	0.671
36	0.887	0.735	1.072	0.822
37	0.518	0.356	0.410	0.457
38	0.187	0.158	0.184	0.326
39	0.766	0.641	0.795	0.757
40	0.723	0.475	0.592	0.661
41	0.388	0.319	0.381	0.492
42	0.756	0.532	0.572	0.785
43	0.692	0.504	0.605	0.793
44	0.368	0.249	0.270	0.504
45	0.280	0.231	0.241	0.523
46	1.134	0.830	1.003	0.980
47	0.645	0.452	0.519	0.762
48	0.579	0.528	0.616	0.674
49	0.758	0.563	0.546	0.630
50	0.318	0.291	0.350	0.639
mean	0.722	0.541	0.637	0.729

year = 4

firm no.	crs te rel to tech in yr *****			vrs te
	t-1	t	t+1	
1	0.235	0.260	0.246	0.540
2	0.221	0.258	0.174	0.432
3	0.168	0.186	0.185	0.489
4	0.741	0.858	0.431	1.000
5	0.389	0.405	0.466	1.000
6	0.984	0.966	1.312	1.000
7	1.092	1.000	1.484	1.000
8	0.280	0.343	0.244	0.658
9	0.238	0.289	0.180	0.484
10	0.292	0.349	0.264	0.742
11	0.290	0.301	0.284	0.505
12	0.435	0.525	0.351	1.000
13	0.336	0.338	0.372	0.466
14	0.378	0.374	0.414	0.657
15	0.289	0.308	0.350	0.530
16	0.956	1.000	0.563	1.000
17	0.481	0.549	0.460	0.625
18	0.467	0.499	0.276	0.687
19	0.499	0.453	0.452	0.972
20	1.257	1.000	1.146	1.000
21	0.696	0.890	0.479	0.959
22	0.500	0.616	0.351	0.756
23	0.667	0.659	0.716	1.000
24	0.382	0.459	0.253	0.498
25	0.362	0.388	0.345	0.983
26	1.223	1.000	1.146	1.000
27	0.758	0.774	0.860	0.933
28	1.000	1.000	1.072	1.000
29	0.271	0.320	0.256	0.662
30	0.227	0.260	0.249	0.394
31	1.087	1.000	1.024	1.000
32	0.193	0.210	0.223	0.534

33	0.240	0.300	0.227	0.576
34	0.297	0.350	0.233	0.591
35	0.320	0.407	0.340	0.518
36	0.608	0.950	0.468	0.953
37	0.405	0.458	0.371	0.525
38	0.151	0.176	0.087	0.307
39	0.631	0.753	0.498	0.755
40	0.344	0.334	0.363	0.570
41	0.203	0.227	0.203	0.459
42	0.495	0.518	0.522	0.678
43	0.282	0.295	0.315	0.526
44	0.326	0.363	0.336	0.639
45	0.259	0.255	0.285	0.551
46	0.527	0.525	0.571	0.594
47	0.345	0.371	0.402	0.603
48	0.517	0.634	0.296	0.634
49	0.492	0.507	0.629	0.507
50	0.224	0.296	0.138	0.492
mean	0.481	0.511	0.458	0.700

year = 5

firm no.	crs te rel to tech in yr *****			vrs te
	t-1	t	t+1	
1	0.455	0.328	0.342	0.371
2	0.518	0.267	0.436	0.434
3	0.505	0.249	0.370	0.394
4	1.205	0.678	1.105	1.000
5	0.755	0.860	0.848	1.000
6	0.751	0.790	0.779	0.891
7	1.016	1.000	1.011	1.000
8	0.755	0.372	0.547	0.515
9	0.471	0.233	0.348	0.321
10	0.372	0.297	0.310	0.368
11	0.302	0.231	0.235	0.354
12	0.410	0.350	0.390	0.655
13	0.325	0.355	0.364	0.455
14	0.730	0.532	0.540	0.592
15	0.480	0.299	0.361	0.438
16	1.008	0.523	0.851	0.683
17	0.574	0.505	0.465	0.565
18	1.828	1.000	1.676	1.000
19	0.427	0.451	0.462	0.582
20	2.779	1.000	2.005	1.000
21	0.801	0.449	0.510	0.774
22	0.569	0.316	0.397	0.512
23	1.094	0.777	0.628	1.000
24	0.630	0.324	0.526	0.386
25	0.366	0.383	0.417	0.499
26	2.102	1.000	1.418	1.000
27	0.679	0.696	0.693	0.754
28	2.325	1.000	1.335	1.000
29	0.425	0.274	0.291	0.394
30	0.317	0.266	0.282	0.285

31	1.592	1.000	1.162	1.000
32	0.533	0.269	0.394	0.440
33	0.480	0.262	0.324	0.330
34	0.219	0.197	0.215	0.384
35	0.451	0.269	0.289	0.344
36	1.402	0.617	0.931	0.899
37	0.440	0.332	0.321	0.343
38	0.204	0.100	0.148	0.203
39	1.051	0.505	0.822	0.656
40	0.581	0.403	0.413	0.567
41	0.433	0.281	0.269	0.334
42	0.850	0.661	0.703	0.906
43	0.430	0.306	0.314	0.430
44	0.353	0.295	0.317	0.513
45	0.281	0.268	0.236	0.491
46	1.467	0.774	1.035	0.894
47	0.338	0.349	0.378	0.578
48	0.478	0.243	0.382	0.322
49	0.736	0.545	0.559	0.553
50	0.324	0.146	0.232	0.248
mean	0.752	0.473	0.588	0.593

year = 6

firm no.	crs te rel to tech in yr *****			vrs te
	t-1	t	t+1	
1	0.217	0.239	0.270	0.467
2	0.146	0.234	0.194	0.440
3	0.188	0.216	0.242	0.648
4	0.447	0.727	0.603	0.735
5	1.423	1.000	1.172	1.000
6	0.624	0.611	0.679	0.778
7	1.338	1.000	1.143	1.000
8	0.344	0.511	0.424	0.856
9	0.158	0.205	0.197	0.428
10	0.285	0.349	0.394	0.789
11	0.238	0.241	0.268	0.437
12	0.279	0.300	0.331	0.728
13	0.276	0.284	0.316	0.514
14	0.405	0.363	0.381	0.750
15	0.279	0.304	0.344	0.489
16	0.427	0.642	0.532	0.767
17	0.479	0.434	0.471	0.754
18	0.341	0.556	0.461	0.768
19	0.485	0.554	0.667	0.782
20	0.877	1.000	1.336	1.000
21	0.475	0.441	0.472	0.464
22	0.295	0.356	0.315	0.483
23	0.687	0.597	0.650	1.000
24	0.282	0.436	0.362	0.513
25	0.314	0.353	0.396	0.669
26	1.078	1.000	1.203	1.000
27	0.664	0.629	0.690	0.792
28	1.179	1.000	1.150	1.000

29	0.205	0.210	0.243	0.464
30	0.249	0.268	0.296	0.386
31	0.869	0.924	1.025	1.000
32	0.228	0.250	0.276	0.611
33	0.203	0.231	0.259	0.500
34	0.204	0.202	0.222	0.495
35	0.378	0.492	0.408	0.610
36	0.486	0.791	0.656	0.854
37	0.298	0.259	0.293	0.386
38	0.077	0.107	0.095	0.240
39	0.438	0.437	0.365	0.603
40	0.409	0.421	0.468	0.719
41	0.156	0.157	0.173	0.433
42	0.626	0.646	0.713	0.794
43	0.242	0.249	0.277	0.445
44	0.237	0.244	0.268	0.412
45	0.133	0.119	0.133	0.312
46	0.543	0.551	0.612	0.702
47	0.284	0.306	0.338	0.566
48	0.192	0.219	0.194	0.307
49	0.642	0.655	0.737	0.658
50	0.122	0.141	0.118	0.296

mean 0.429 0.449 0.477 0.637

year = 7

firm no.	crs te rel to tech in yr *****			vrs te
	t-1	t	t+1	
1	0.317	0.352	0.318	0.401
2	0.257	0.213	0.275	0.406
3	0.218	0.240	0.238	0.361
4	1.140	0.945	1.145	0.958
5	0.943	1.000	1.020	1.000
6	0.652	0.728	0.713	0.828
7	1.206	1.000	1.510	1.000
8	0.317	0.352	0.380	0.458
9	0.280	0.233	0.319	0.388
10	0.342	0.322	0.414	0.501
11	0.221	0.228	0.224	0.430
12	0.294	0.324	0.315	0.496
13	0.343	0.380	0.389	0.547
14	0.473	0.463	0.510	0.561
15	0.580	0.667	0.649	0.704
16	0.716	0.594	0.720	0.768
17	0.395	0.432	0.425	0.638
18	1.013	0.840	1.018	1.000
19	0.481	0.552	0.613	0.577
20	1.010	1.000	1.036	1.000
21	0.681	0.565	0.751	0.620
22	0.285	0.316	0.345	0.436
23	0.555	0.622	0.623	0.736
24	0.362	0.300	0.377	0.373
25	0.296	0.329	0.345	0.515
26	1.077	1.000	1.294	1.000

27	0.678	0.713	0.712	0.868
28	1.233	1.000	1.341	1.000
29	0.254	0.261	0.312	0.407
30	0.256	0.281	0.276	0.323
31	0.898	0.994	0.983	0.995
32	0.226	0.247	0.265	0.420
33	0.258	0.273	0.316	0.377
34	0.178	0.192	0.218	0.405
35	0.280	0.280	0.330	0.481
36	0.628	0.521	0.631	0.617
37	0.276	0.307	0.310	0.398
38	0.112	0.093	0.122	0.214
39	0.576	0.478	0.691	0.645
40	0.452	0.502	0.503	0.625
41	0.184	0.191	0.229	0.296
42	0.585	0.643	0.627	0.851
43	0.290	0.270	0.348	0.399
44	0.214	0.234	0.227	0.363
45	0.143	0.138	0.157	0.343
46	0.755	0.771	0.849	0.802
47	0.307	0.338	0.328	0.577
48	0.319	0.265	0.351	0.381
49	0.762	0.855	0.854	1.000
50	0.329	0.273	0.331	0.507

mean 0.493 0.482 0.546 0.600

year = 8

firm no.	crs te rel to tech in yr *****			vrs te
	t-1	t	t+1	
1	0.250	0.230	0.251	0.367
2	0.256	0.310	0.268	0.357
3	0.226	0.228	0.234	0.343
4	0.787	0.954	0.824	1.000
5	0.858	0.873	0.939	1.000
6	0.664	0.635	0.665	0.668
7	1.038	1.000	1.245	1.000
8	0.309	0.399	0.342	0.523
9	0.218	0.287	0.229	0.328
10	0.296	0.363	0.347	0.557
11	0.226	0.245	0.249	0.412
12	0.256	0.248	0.254	0.461
13	0.373	0.373	0.383	0.559
14	0.453	0.463	0.474	0.824
15	0.440	0.387	0.381	0.515
16	0.537	0.650	0.562	0.683
17	0.449	0.443	0.447	0.550
18	0.594	0.720	0.622	0.724
19	0.530	0.583	0.557	0.719
20	1.757	1.000	1.229	1.000
21	0.462	0.564	0.512	0.595
22	0.285	0.303	0.283	0.386
23	0.550	0.547	0.607	0.703
24	0.256	0.338	0.273	0.347

25	0.303	0.314	0.298	0.467
26	0.973	1.000	1.186	1.000
27	0.773	0.768	0.850	0.841
28	1.008	1.000	0.975	1.000
29	0.231	0.296	0.260	0.452
30	0.233	0.229	0.234	0.293
31	1.032	1.000	1.007	1.000
32	0.200	0.193	0.210	0.451
33	0.235	0.242	0.241	0.341
34	0.153	0.151	0.145	0.319
35	0.281	0.282	0.302	0.485
36	0.369	0.448	0.387	0.527
37	0.277	0.278	0.319	0.401
38	0.111	0.135	0.116	0.184
39	0.434	0.427	0.528	0.536
40	0.411	0.457	0.440	0.734
41	0.162	0.160	0.166	0.289
42	0.620	0.611	0.617	0.781
43	0.293	0.385	0.312	0.441
44	0.192	0.187	0.192	0.338
45	0.131	0.127	0.157	0.341
46	0.683	0.664	0.630	0.696
47	0.274	0.266	0.255	0.461
48	0.206	0.266	0.228	0.277
49	0.799	0.798	0.894	0.968
50	0.392	0.476	0.411	0.511
mean	0.457	0.466	0.471	0.575

year = 9

firm no.	crs te rel to tech in yr *****			vrs te
	t-1	t	t+1	
1	0.237	0.233	0.193	0.376
2	0.210	0.173	0.127	0.361
3	0.212	0.223	0.189	0.325
4	1.096	0.947	0.398	0.947
5	0.983	1.000	0.984	1.000
6	0.671	0.707	0.555	0.711
7	1.420	1.000	1.067	1.000
8	0.251	0.245	0.203	0.419
9	0.208	0.198	0.166	0.325
10	0.330	0.345	0.305	0.558
11	0.281	0.298	0.266	0.526
12	0.293	0.307	0.270	0.604
13	0.764	0.727	0.646	0.807
14	0.361	0.371	0.235	0.627
15	0.838	0.874	0.673	1.000
16	0.606	0.524	0.328	0.705
17	0.475	0.507	0.418	0.520
18	0.297	0.257	0.149	0.438
19	0.747	0.715	0.623	0.830
20	2.477	1.000	0.945	1.000
21	0.582	0.518	0.472	0.543
22	0.308	0.298	0.252	0.374

23	0.467	0.494	0.398	0.749
24	0.350	0.287	0.202	0.393
25	0.295	0.288	0.242	0.404
26	0.985	1.000	0.923	1.000
27	0.761	0.844	0.748	0.877
28	1.170	1.000	0.994	1.000
29	0.225	0.236	0.209	0.470
30	0.194	0.205	0.182	0.298
31	1.056	1.000	0.894	1.000
32	0.202	0.211	0.179	0.339
33	0.212	0.205	0.175	0.245
34	0.166	0.160	0.135	0.282
35	0.380	0.380	0.299	0.463
36	0.687	0.594	0.308	0.667
37	0.275	0.310	0.249	0.433
38	0.106	0.088	0.063	0.175
39	0.727	0.533	0.547	0.647
40	0.639	0.607	0.537	0.761
41	0.153	0.167	0.139	0.290
42	0.547	0.538	0.446	0.573
43	0.320	0.325	0.277	0.431
44	0.221	0.241	0.202	0.421
45	0.136	0.167	0.137	0.424
46	0.710	0.666	0.563	0.676
47	0.284	0.274	0.231	0.510
48	0.365	0.289	0.254	0.330
49	0.775	0.854	0.671	1.000
50	0.302	0.261	0.164	0.475

mean 0.527 0.474 0.397 0.587

year = 10

firm no.	crs te rel to tech in yr *****			vrs te
	t-1	t	t+1	
1	0.406	0.318	0.000	0.415
2	0.235	0.141	0.000	0.191
3	0.214	0.178	0.000	0.235
4	0.594	0.264	0.000	0.826
5	1.516	1.000	0.000	1.000
6	0.635	0.509	0.000	0.537
7	1.711	1.000	0.000	1.000
8	0.289	0.246	0.000	0.331
9	0.346	0.218	0.000	0.249
10	0.366	0.322	0.000	0.446
11	0.334	0.280	0.000	0.336
12	0.365	0.329	0.000	0.593
13	0.737	0.655	0.000	0.758
14	0.382	0.267	0.000	0.504
15	0.410	0.305	0.000	0.454
16	0.462	0.297	0.000	0.335
17	0.522	0.446	0.000	0.461
18	0.555	0.233	0.000	0.263
19	0.565	0.505	0.000	0.505
20	3.369	1.000	0.000	1.000

21	0.521	0.445	0.000	0.504
22	0.318	0.263	0.000	0.322
23	0.530	0.421	0.000	0.638
24	0.258	0.196	0.000	0.196
25	0.273	0.238	0.000	0.387
26	1.118	1.000	0.000	1.000
27	0.866	0.779	0.000	0.779
28	1.105	0.813	0.000	1.000
29	0.315	0.210	0.000	0.281
30	0.215	0.183	0.000	0.207
31	0.988	0.859	0.000	0.965
32	0.223	0.193	0.000	0.292
33	0.211	0.168	0.000	0.204
34	0.171	0.145	0.000	0.243
35	0.339	0.290	0.000	0.385
36	0.550	0.278	0.000	0.484
37	0.323	0.272	0.000	0.340
38	0.099	0.060	0.000	0.096
39	0.468	0.476	0.000	0.525
40	0.421	0.368	0.000	0.434
41	0.172	0.149	0.000	0.214
42	0.633	0.524	0.000	0.528
43	0.292	0.218	0.000	0.264
44	0.227	0.195	0.000	0.336
45	0.152	0.128	0.000	0.323
46	0.747	0.582	0.000	0.586
47	0.345	0.273	0.000	0.387
48	0.284	0.246	0.000	0.248
49	0.793	0.625	0.000	0.746
50	0.462	0.211	0.000	0.247
mean	0.549	0.386	0.000	0.472

[Note that t-1 in year 1 and t+1 in the final year are not defined]

MALMQUIST INDEX SUMMARY

year = 2

firm	effch	techch	pech	sech	tfpch
1	0.843	0.961	0.822	1.026	0.810
2	0.914	0.913	0.667	1.369	0.835
3	1.129	0.917	0.796	1.418	1.035
4	1.082	1.031	1.000	1.082	1.115
5	0.815	1.105	1.000	0.815	0.901
6	0.920	1.083	0.988	0.931	0.996
7	1.000	1.035	1.000	1.000	1.035
8	1.722	0.943	1.400	1.230	1.625
9	1.593	0.894	1.061	1.502	1.425
10	1.305	0.904	1.132	1.152	1.180
11	2.082	0.966	1.326	1.570	2.011
12	0.874	0.939	0.879	0.994	0.821
13	1.420	0.954	1.282	1.107	1.355
14	1.512	0.943	1.068	1.416	1.426
15	0.942	0.988	1.048	0.898	0.930

16	1.594	1.049	1.423	1.120	1.672
17	1.269	0.940	1.056	1.202	1.193
18	2.108	1.043	1.842	1.145	2.200
19	1.141	1.053	0.977	1.168	1.202
20	1.144	1.034	1.262	0.906	1.183
21	1.101	0.934	1.379	0.798	1.028
22	1.400	0.856	1.087	1.288	1.199
23	1.246	0.930	1.000	1.246	1.159
24	1.499	0.875	1.294	1.158	1.312
25	1.041	0.997	1.060	0.983	1.038
26	1.000	1.081	1.000	1.000	1.081
27	1.146	1.027	1.058	1.083	1.177
28	1.000	0.896	1.000	1.000	0.896
29	0.855	1.006	0.759	1.127	0.860
30	1.134	0.908	0.808	1.402	1.030
31	1.000	0.949	1.000	1.000	0.949
32	1.667	0.981	0.867	1.922	1.635
33	0.956	0.951	0.754	1.267	0.909
34	1.051	0.943	1.003	1.048	0.991
35	1.277	0.849	0.964	1.325	1.084
36	1.093	0.857	1.210	0.904	0.937
37	1.255	0.939	1.077	1.165	1.179
38	1.084	0.932	0.835	1.298	1.010
39	1.502	0.923	1.361	1.104	1.387
40	1.252	0.954	1.206	1.038	1.194
41	1.134	1.002	0.776	1.462	1.137
42	1.497	0.974	1.223	1.224	1.457
43	1.321	0.957	1.129	1.170	1.264
44	0.983	1.039	1.229	0.800	1.022
45	1.140	1.012	1.228	0.929	1.154
46	1.212	0.948	1.105	1.096	1.149
47	0.953	0.996	0.994	0.959	0.949
48	1.629	0.913	1.204	1.353	1.488
49	0.832	0.979	0.880	0.946	0.814
50	0.960	0.912	0.697	1.377	0.876
mean	1.180	0.962	1.043	1.131	1.136
year =	3				
firm	effch	techch	pech	sech	tfpch
1	1.014	1.383	1.188	0.853	1.402
2	0.926	1.311	1.312	0.706	1.214
3	0.921	1.501	1.219	0.756	1.382
4	1.089	1.086	1.000	1.089	1.183
5	1.138	0.979	1.000	1.138	1.114
6	1.293	1.131	1.012	1.277	1.463
7	1.000	1.149	1.000	1.000	1.149
8	0.671	1.218	0.884	0.759	0.818
9	0.614	1.424	0.921	0.666	0.874
10	0.580	1.528	0.816	0.710	0.886
11	0.593	1.414	0.792	0.748	0.838
12	1.327	1.395	1.199	1.107	1.851
13	0.617	1.333	0.652	0.947	0.822
14	0.923	1.143	1.132	0.816	1.055
15	0.972	1.524	0.975	0.997	1.480

16	0.798	1.082	1.000	0.798	0.863
17	0.687	1.465	0.919	0.747	1.006
18	0.906	1.058	1.002	0.905	0.959
19	1.631	1.035	1.397	1.167	1.688
20	1.314	1.818	1.000	1.314	2.389
21	0.934	1.180	0.751	1.244	1.102
22	0.728	1.346	0.923	0.789	0.980
23	0.769	1.103	1.000	0.769	0.848
24	0.752	1.328	0.817	0.921	0.999
25	0.927	1.036	0.699	1.326	0.960
26	1.000	1.223	1.000	1.000	1.223
27	0.775	1.173	0.902	0.859	0.909
28	1.000	1.083	1.000	1.000	1.083
29	1.213	1.338	1.643	0.738	1.622
30	0.826	1.407	1.069	0.773	1.162
31	1.000	1.298	1.000	1.000	1.298
32	0.711	1.403	1.337	0.532	0.998
33	1.284	1.318	1.723	0.745	1.692
34	1.696	1.328	1.852	0.916	2.251
35	0.838	1.272	1.259	0.666	1.066
36	1.233	1.274	1.104	1.116	1.570
37	0.616	1.453	0.760	0.810	0.895
38	0.884	1.177	1.204	0.735	1.041
39	0.641	1.203	0.757	0.847	0.771
40	0.820	1.468	0.832	0.986	1.204
41	0.891	1.331	1.278	0.697	1.186
42	0.577	1.437	0.843	0.685	0.829
43	0.794	1.375	0.982	0.808	1.092
44	0.995	1.302	0.928	1.073	1.296
45	0.912	1.315	1.083	0.842	1.200
46	0.947	1.350	1.116	0.849	1.279
47	1.062	1.301	0.923	1.151	1.382
48	0.851	1.118	1.085	0.784	0.952
49	0.766	1.326	0.810	0.946	1.016
50	1.272	1.231	2.171	0.586	1.566

mean 0.903 1.280 1.033 0.874 1.156

year = 4

firm	effch	techch	pech	sech	tfpch
1	0.710	0.873	1.035	0.685	0.619
2	0.966	0.844	0.962	1.004	0.816
3	0.760	0.845	1.098	0.692	0.643
4	0.858	0.873	1.000	0.858	0.749
5	0.574	0.952	1.000	0.574	0.547
6	1.058	0.995	1.000	1.058	1.052
7	1.000	0.986	1.000	1.000	0.986
8	0.719	0.828	0.888	0.810	0.596
9	1.064	0.812	1.164	0.915	0.864
10	1.004	0.807	1.238	0.811	0.810
11	0.730	0.896	0.804	0.908	0.654
12	1.094	0.826	1.159	0.944	0.904
13	0.912	0.968	0.961	0.950	0.883
14	0.733	0.960	0.974	0.753	0.704
15	0.899	0.886	0.874	1.028	0.797

16	1.253	0.922	1.000	1.253	1.156
17	1.054	0.902	0.842	1.253	0.951
18	0.684	0.910	0.687	0.995	0.622
19	0.608	1.100	1.016	0.598	0.669
20	1.000	1.053	1.000	1.000	1.053
21	1.246	0.784	1.278	0.975	0.976
22	1.334	0.819	1.174	1.136	1.092
23	0.857	1.003	1.000	0.857	0.859
24	1.087	0.845	1.053	1.032	0.918
25	1.156	0.960	1.670	0.692	1.110
26	1.000	1.018	1.000	1.000	1.018
27	0.999	0.981	1.034	0.966	0.980
28	1.000	0.760	1.000	1.000	0.760
29	0.796	0.829	0.876	0.909	0.660
30	0.797	0.860	0.921	0.865	0.685
31	1.000	0.916	1.000	1.000	0.916
32	0.726	0.885	0.848	0.856	0.642
33	0.773	0.830	0.829	0.933	0.642
34	0.815	0.853	0.616	1.323	0.695
35	1.032	0.747	0.772	1.337	0.771
36	1.293	0.663	1.160	1.115	0.857
37	1.286	0.876	1.148	1.120	1.127
38	1.118	0.855	0.941	1.188	0.956
39	1.175	0.822	0.998	1.178	0.966
40	0.702	0.910	0.863	0.813	0.639
41	0.710	0.867	0.933	0.760	0.616
42	0.975	0.942	0.864	1.129	0.919
43	0.586	0.893	0.663	0.884	0.523
44	1.456	0.909	1.266	1.150	1.324
45	1.107	0.987	1.052	1.052	1.092
46	0.633	0.911	0.606	1.044	0.577
47	0.821	0.899	0.791	1.038	0.738
48	1.201	0.836	0.941	1.276	1.004
49	0.900	1.001	0.806	1.117	0.901
50	1.019	0.792	0.770	1.323	0.807
mean	0.922	0.886	0.955	0.965	0.817
year =	5				
firm	effch	techch	pech	sech	tfpch
1	1.263	1.210	0.687	1.839	1.528
2	1.036	1.697	1.005	1.032	1.758
3	1.342	1.427	0.807	1.664	1.915
4	0.790	1.881	1.000	0.790	1.485
5	2.126	0.872	1.000	2.126	1.855
6	0.818	0.836	0.891	0.918	0.684
7	1.000	0.828	1.000	1.000	0.828
8	1.084	1.690	0.782	1.387	1.832
9	0.805	1.805	0.664	1.213	1.454
10	0.851	1.286	0.497	1.713	1.094
11	0.767	1.177	0.701	1.094	0.903
12	0.667	1.323	0.655	1.019	0.883
13	1.048	0.914	0.977	1.072	0.957
14	1.422	1.113	0.901	1.578	1.583
15	0.970	1.188	0.826	1.174	1.153

16	0.523	1.850	0.683	0.766	0.967
17	0.920	1.165	0.903	1.018	1.072
18	2.005	1.818	1.455	1.378	3.646
19	0.995	0.974	0.598	1.663	0.969
20	1.000	1.558	1.000	1.000	1.558
21	0.505	1.820	0.807	0.626	0.919
22	0.512	1.780	0.677	0.756	0.912
23	1.180	1.138	1.000	1.180	1.343
24	0.705	1.878	0.775	0.909	1.323
25	0.986	1.037	0.507	1.943	1.023
26	1.000	1.355	1.000	1.000	1.355
27	0.899	0.937	0.808	1.112	0.842
28	1.000	1.472	1.000	1.000	1.472
29	0.855	1.393	0.595	1.437	1.191
30	1.023	1.116	0.723	1.415	1.141
31	1.000	1.247	1.000	1.000	1.247
32	1.280	1.368	0.825	1.551	1.750
33	0.874	1.556	0.574	1.524	1.360
34	0.563	1.292	0.650	0.866	0.727
35	0.662	1.417	0.663	0.998	0.938
36	0.649	2.149	0.943	0.688	1.394
37	0.725	1.280	0.654	1.108	0.927
38	0.569	2.029	0.661	0.860	1.154
39	0.670	1.775	0.869	0.771	1.189
40	1.208	1.151	0.994	1.215	1.390
41	1.238	1.311	0.726	1.704	1.624
42	1.275	1.131	1.337	0.954	1.442
43	1.035	1.149	0.817	1.267	1.190
44	0.813	1.137	0.803	1.013	0.925
45	1.048	0.970	0.892	1.174	1.016
46	1.474	1.320	1.504	0.980	1.946
47	0.942	0.945	0.959	0.982	0.891
48	0.384	2.053	0.508	0.755	0.787
49	1.076	1.043	1.090	0.987	1.122
50	0.494	2.181	0.505	0.979	1.078
mean	0.907	1.335	0.811	1.118	1.210
year =	6				
firm	effch	techch	pech	sech	tfpch
1	0.728	0.934	1.258	0.579	0.680
2	0.875	0.620	1.015	0.862	0.542
3	0.868	0.766	1.645	0.528	0.665
4	1.073	0.614	0.735	1.460	0.659
5	1.162	1.201	1.000	1.162	1.396
6	0.772	1.019	0.873	0.885	0.787
7	1.000	1.150	1.000	1.000	1.150
8	1.374	0.676	1.663	0.826	0.930
9	0.881	0.717	1.330	0.663	0.632
10	1.173	0.886	2.142	0.548	1.039
11	1.042	0.987	1.234	0.844	1.029
12	0.857	0.915	1.113	0.770	0.784
13	0.801	0.973	1.129	0.710	0.779
14	0.682	1.049	1.267	0.538	0.715
15	1.017	0.872	1.115	0.912	0.887

16	1.228	0.639	1.123	1.093	0.785
17	0.860	1.094	1.335	0.644	0.940
18	0.556	0.604	0.768	0.724	0.336
19	1.231	0.923	1.344	0.915	1.136
20	1.000	0.661	1.000	1.000	0.661
21	0.981	0.975	0.600	1.636	0.956
22	1.128	0.812	0.942	1.197	0.915
23	0.768	1.193	1.000	0.768	0.917
24	1.348	0.630	1.331	1.013	0.849
25	0.922	0.904	1.341	0.687	0.833
26	1.000	0.872	1.000	1.000	0.872
27	0.904	1.029	1.050	0.860	0.930
28	1.000	0.940	1.000	1.000	0.940
29	0.767	0.957	1.180	0.650	0.734
30	1.009	0.936	1.355	0.745	0.944
31	0.924	0.900	1.000	0.924	0.832
32	0.928	0.789	1.387	0.669	0.732
33	0.881	0.844	1.514	0.582	0.744
34	1.023	0.962	1.289	0.794	0.984
35	1.827	0.846	1.774	1.030	1.545
36	1.283	0.638	0.950	1.350	0.819
37	0.780	1.091	1.126	0.693	0.852
38	1.063	0.698	1.184	0.898	0.742
39	0.866	0.784	0.920	0.942	0.680
40	1.044	0.974	1.267	0.824	1.017
41	0.561	1.016	1.298	0.432	0.570
42	0.978	0.954	0.876	1.117	0.933
43	0.814	0.975	1.035	0.786	0.793
44	0.828	0.951	0.804	1.030	0.787
45	0.446	1.125	0.635	0.702	0.501
46	0.711	0.859	0.786	0.905	0.611
47	0.876	0.926	0.979	0.895	0.811
48	0.901	0.748	0.953	0.945	0.674
49	1.201	0.977	1.190	1.009	1.174
50	0.962	0.740	1.191	0.807	0.712
mean	0.932	0.872	1.107	0.842	0.813
year =	7				
firm	effch	techch	pech	sech	tfpch
1	1.472	0.892	0.859	1.714	1.313
2	0.912	1.206	0.923	0.988	1.100
3	1.111	0.901	0.556	1.997	1.000
4	1.299	1.206	1.302	0.998	1.567
5	1.000	0.897	1.000	1.000	0.897
6	1.193	0.897	1.065	1.121	1.071
7	1.000	1.027	1.000	1.000	1.027
8	0.690	1.041	0.535	1.289	0.718
9	1.133	1.122	0.907	1.248	1.272
10	0.924	0.969	0.635	1.455	0.896
11	0.947	0.934	0.984	0.962	0.884
12	1.079	0.908	0.680	1.586	0.979
13	1.336	0.901	1.064	1.256	1.204
14	1.275	0.986	0.748	1.706	1.257
15	2.197	0.876	1.440	1.526	1.924

16	0.925	1.206	1.001	0.924	1.116
17	0.994	0.918	0.847	1.174	0.912
18	1.511	1.206	1.302	1.161	1.822
19	0.996	0.851	0.738	1.350	0.847
20	1.000	0.869	1.000	1.000	0.869
21	1.282	1.061	1.335	0.960	1.359
22	0.888	1.009	0.903	0.983	0.896
23	1.041	0.906	0.736	1.415	0.943
24	0.688	1.206	0.726	0.948	0.830
25	0.934	0.894	0.770	1.212	0.835
26	1.000	0.946	1.000	1.000	0.946
27	1.134	0.931	1.096	1.035	1.056
28	1.000	1.035	1.000	1.000	1.035
29	1.245	0.916	0.877	1.420	1.141
30	1.049	0.908	0.839	1.251	0.952
31	1.076	0.903	0.995	1.081	0.971
32	0.989	0.910	0.688	1.439	0.900
33	1.180	0.917	0.753	1.567	1.082
34	0.954	0.916	0.819	1.165	0.873
35	0.568	1.100	0.788	0.721	0.625
36	0.658	1.206	0.722	0.911	0.793
37	1.186	0.892	1.029	1.153	1.058
38	0.872	1.161	0.892	0.978	1.012
39	1.092	1.202	1.069	1.021	1.313
40	1.194	0.899	0.870	1.373	1.073
41	1.213	0.938	0.683	1.777	1.138
42	0.995	0.908	1.072	0.928	0.903
43	1.087	0.981	0.898	1.211	1.066
44	0.959	0.912	0.880	1.089	0.875
45	1.161	0.963	1.101	1.055	1.118
46	1.401	0.938	1.141	1.227	1.314
47	1.105	0.907	1.020	1.083	1.003
48	1.210	1.165	1.239	0.976	1.410
49	1.306	0.890	1.519	0.859	1.162
50	1.939	1.200	1.715	1.130	2.326
mean	1.077	0.984	0.927	1.162	1.060
year =	8				
firm	effch	techch	pech	sech	tfpch
1	0.653	1.096	0.916	0.713	0.716
2	1.454	0.801	0.878	1.657	1.164
3	0.950	0.999	0.951	0.999	0.950
4	1.009	0.825	1.044	0.966	0.833
5	0.873	0.982	1.000	0.873	0.857
6	0.872	1.034	0.806	1.081	0.901
7	1.000	0.829	1.000	1.000	0.829
8	1.132	0.847	1.141	0.993	0.959
9	1.233	0.744	0.844	1.460	0.918
10	1.127	0.797	1.112	1.013	0.898
11	1.073	0.969	0.958	1.120	1.039
12	0.766	1.029	0.929	0.824	0.789
13	0.981	0.987	1.021	0.961	0.969
14	1.001	0.942	1.468	0.682	0.943
15	0.580	1.081	0.732	0.793	0.627

16	1.095	0.825	0.889	1.231	0.903
17	1.026	1.014	0.861	1.191	1.040
18	0.856	0.825	0.724	1.184	0.707
19	1.055	0.905	1.246	0.847	0.955
20	1.000	1.303	1.000	1.000	1.303
21	0.998	0.785	0.960	1.039	0.783
22	0.960	0.928	0.886	1.084	0.891
23	0.880	1.002	0.955	0.921	0.882
24	1.126	0.777	0.931	1.210	0.875
25	0.954	0.960	0.906	1.054	0.916
26	1.000	0.867	1.000	1.000	0.867
27	1.077	1.004	0.969	1.112	1.081
28	1.000	0.867	1.000	1.000	0.867
29	1.133	0.809	1.110	1.021	0.916
30	0.813	1.019	0.907	0.897	0.829
31	1.006	1.022	1.005	1.000	1.028
32	0.782	0.980	1.074	0.729	0.767
33	0.888	0.915	0.905	0.981	0.813
34	0.786	0.946	0.786	0.999	0.744
35	1.010	0.919	1.010	1.000	0.928
36	0.860	0.825	0.854	1.007	0.709
37	0.906	0.993	1.009	0.898	0.899
38	1.448	0.793	0.860	1.684	1.148
39	0.893	0.839	0.831	1.075	0.749
40	0.910	0.948	1.174	0.775	0.863
41	0.838	0.919	0.977	0.858	0.770
42	0.951	1.020	0.918	1.035	0.970
43	1.423	0.769	1.106	1.287	1.095
44	0.800	1.028	0.933	0.857	0.822
45	0.920	0.953	0.993	0.926	0.876
46	0.861	0.967	0.868	0.992	0.832
47	0.785	1.032	0.799	0.983	0.810
48	1.004	0.764	0.727	1.382	0.768
49	0.933	1.001	0.968	0.964	0.934
50	1.743	0.825	1.009	1.728	1.438
mean	0.970	0.920	0.950	1.021	0.892
year =	9				
firm	effch	techch	pech	sech	tfpch
1	1.014	0.965	1.025	0.990	0.978
2	0.559	1.183	1.012	0.553	0.661
3	0.977	0.964	0.947	1.032	0.942
4	0.993	1.157	0.947	1.048	1.149
5	1.145	0.956	1.000	1.145	1.095
6	1.113	0.953	1.065	1.045	1.060
7	1.000	1.068	1.000	1.000	1.068
8	0.615	1.092	0.801	0.767	0.671
9	0.691	1.147	0.991	0.697	0.792
10	0.951	1.000	1.002	0.949	0.951
11	1.217	0.962	1.276	0.954	1.171
12	1.236	0.966	1.311	0.943	1.193
13	1.951	1.012	1.445	1.351	1.974
14	0.801	0.975	0.761	1.052	0.781
15	2.259	0.986	1.941	1.164	2.228

16	0.806	1.157	1.033	0.780	0.933
17	1.145	0.964	0.946	1.210	1.104
18	0.357	1.157	0.606	0.589	0.413
19	1.227	1.045	1.154	1.064	1.283
20	1.000	1.420	1.000	1.000	1.420
21	0.919	1.112	0.913	1.006	1.022
22	0.981	1.053	0.969	1.012	1.033
23	0.902	0.924	1.064	0.848	0.833
24	0.847	1.230	1.132	0.749	1.043
25	0.916	1.039	0.866	1.058	0.952
26	1.000	0.911	1.000	1.000	0.911
27	1.099	0.903	1.043	1.054	0.992
28	1.000	1.095	1.000	1.000	1.095
29	0.797	1.041	1.040	0.767	0.830
30	0.896	0.961	1.014	0.883	0.861
31	1.000	1.024	1.000	1.000	1.024
32	1.089	0.941	0.751	1.449	1.024
33	0.847	1.019	0.719	1.179	0.864
34	1.055	1.041	0.884	1.194	1.099
35	1.345	0.966	0.954	1.411	1.300
36	1.326	1.157	1.267	1.046	1.534
37	1.116	0.878	1.081	1.033	0.980
38	0.650	1.181	0.950	0.684	0.768
39	1.251	1.049	1.206	1.037	1.312
40	1.328	1.045	1.038	1.280	1.389
41	1.041	0.943	1.003	1.038	0.982
42	0.881	1.003	0.733	1.201	0.883
43	0.843	1.104	0.976	0.864	0.931
44	1.284	0.948	1.243	1.033	1.218
45	1.314	0.809	1.244	1.056	1.063
46	1.003	1.060	0.972	1.031	1.063
47	1.030	1.039	1.106	0.931	1.071
48	1.088	1.212	1.194	0.912	1.318
49	1.070	0.900	1.033	1.036	0.963
50	0.549	1.157	0.929	0.591	0.635
mean	0.988	1.032	1.014	0.974	1.020
year =	10				
firm	effch	techch	pech	sech	tfpch
1	1.363	1.242	1.103	1.237	1.693
2	0.811	1.512	0.531	1.527	1.226
3	0.799	1.191	0.725	1.103	0.952
4	0.279	2.313	0.873	0.320	0.645
5	1.000	1.241	1.000	1.000	1.241
6	0.721	1.260	0.755	0.955	0.908
7	1.000	1.266	1.000	1.000	1.266
8	1.002	1.193	0.791	1.268	1.196
9	1.101	1.376	0.768	1.434	1.515
10	0.932	1.136	0.798	1.167	1.059
11	0.941	1.157	0.639	1.471	1.088
12	1.075	1.120	0.983	1.094	1.204
13	0.901	1.125	0.939	0.960	1.014
14	0.720	1.504	0.803	0.897	1.083
15	0.349	1.322	0.454	0.768	0.461

16	0.567	1.576	0.476	1.193	0.894
17	0.879	1.192	0.886	0.992	1.048
18	0.909	2.024	0.600	1.516	1.839
19	0.705	1.134	0.608	1.160	0.800
20	1.000	1.889	1.000	1.000	1.889
21	0.859	1.133	0.928	0.925	0.974
22	0.884	1.195	0.861	1.027	1.057
23	0.852	1.250	0.852	0.999	1.065
24	0.684	1.364	0.499	1.371	0.933
25	0.827	1.169	0.958	0.864	0.966
26	1.000	1.101	1.000	1.000	1.101
27	0.923	1.120	0.889	1.038	1.034
28	0.813	1.170	1.000	0.813	0.951
29	0.889	1.301	0.599	1.485	1.157
30	0.892	1.152	0.695	1.284	1.028
31	0.859	1.135	0.965	0.890	0.974
32	0.915	1.167	0.860	1.064	1.068
33	0.818	1.214	0.833	0.983	0.993
34	0.905	1.184	0.862	1.051	1.072
35	0.764	1.219	0.831	0.920	0.931
36	0.468	1.953	0.725	0.646	0.915
37	0.877	1.216	0.786	1.117	1.067
38	0.684	1.518	0.550	1.242	1.038
39	0.891	0.980	0.812	1.097	0.873
40	0.606	1.137	0.570	1.064	0.689
41	0.893	1.180	0.739	1.209	1.054
42	0.974	1.208	0.921	1.058	1.176
43	0.672	1.253	0.613	1.096	0.841
44	0.812	1.175	0.798	1.017	0.954
45	0.762	1.206	0.761	1.002	0.919
46	0.873	1.233	0.866	1.008	1.077
47	0.998	1.223	0.759	1.314	1.221
48	0.850	1.147	0.751	1.131	0.975
49	0.732	1.270	0.746	0.981	0.930
50	0.809	1.868	0.519	1.558	1.512
mean	0.813	1.283	0.768	1.058	1.042

MALMQUIST INDEX SUMMARY OF ANNUAL MEANS

year	effch	techch	pech	sech	tfpch
2	1.180	0.962	1.043	1.131	1.136
3	0.903	1.280	1.033	0.874	1.156
4	0.922	0.886	0.955	0.965	0.817
5	0.907	1.335	0.811	1.118	1.210
6	0.932	0.872	1.107	0.842	0.813
7	1.077	0.984	0.927	1.162	1.060
8	0.970	0.920	0.950	1.021	0.892
9	0.988	1.032	1.014	0.974	1.020
10	0.813	1.283	0.768	1.058	1.042
mean	0.961	1.048	0.951	1.010	1.007

MALMQUIST INDEX SUMMARY OF FIRM MEANS

firm	effch	techch	pech	sech	tfpch
1	0.967	1.049	0.972	0.995	1.015
2	0.914	1.070	0.896	1.020	0.978
3	0.970	1.031	0.929	1.044	1.000
4	0.878	1.130	0.979	0.897	0.993
5	1.031	1.013	1.000	1.031	1.045
6	0.955	1.016	0.933	1.024	0.971
7	1.000	1.028	1.000	1.000	1.028
8	0.944	1.025	0.936	1.008	0.968
9	0.973	1.065	0.942	1.033	1.037
10	0.961	1.012	0.959	1.002	0.973
11	0.981	1.041	0.938	1.045	1.020
12	0.975	1.032	0.965	1.011	1.006
13	1.050	1.011	1.030	1.019	1.062
14	0.966	1.057	0.989	0.977	1.021
15	0.978	1.061	0.971	1.007	1.037
16	0.920	1.094	0.921	0.999	1.007
17	0.968	1.060	0.945	1.024	1.026
18	0.947	1.111	0.923	1.026	1.052
19	1.026	0.998	0.964	1.064	1.024
20	1.046	1.225	1.026	1.020	1.281
21	0.952	1.054	0.961	0.991	1.003
22	0.941	1.054	0.926	1.016	0.992
23	0.931	1.043	0.951	0.978	0.971
24	0.931	1.069	0.912	1.020	0.995
25	0.959	0.996	0.923	1.039	0.955
26	1.000	1.030	1.000	1.000	1.030
27	0.987	1.008	0.979	1.009	0.996
28	0.977	1.018	1.000	0.977	0.995
29	0.934	1.045	0.918	1.017	0.977
30	0.931	1.018	0.908	1.026	0.948
31	0.983	1.034	0.996	0.987	1.017
32	0.974	1.028	0.933	1.043	1.001
33	0.932	1.040	0.899	1.037	0.969
34	0.945	1.040	0.919	1.027	0.982
35	0.974	1.016	0.960	1.014	0.989
36	0.928	1.093	0.974	0.953	1.014
37	0.943	1.052	0.947	0.996	0.992
38	0.894	1.091	0.874	1.023	0.975
39	0.963	1.031	0.963	1.000	0.993
40	0.975	1.042	0.955	1.021	1.016
41	0.920	1.045	0.911	1.010	0.961
42	0.982	1.053	0.960	1.023	1.035
43	0.916	1.036	0.895	1.023	0.949
44	0.971	1.037	0.970	1.001	1.007
45	0.940	1.028	0.978	0.961	0.967
46	0.976	1.051	0.967	1.010	1.026
47	0.947	1.022	0.919	1.031	0.967
48	0.953	1.055	0.922	1.033	1.005
49	0.962	1.034	0.981	0.981	0.995
50	0.987	1.133	0.942	1.048	1.118
mean	0.961	1.048	0.951	1.010	1.007

[Note that all Malmquist index averages are geometric means]