

## **APLICACIÓN DE DEA PARA MEDIR LA EFICIENCIA DE UNA PLANTA DESHIDRATADORA DE MANZANAS**

**Marcela C. González-Araya**

Departamento de Modelación y Gestión Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca,  
Merced 437, Curicó, Chile  
Investigadora Asociada del Centro de Estudios en Alimentos Procesados (CEAP),  
Av. San Miguel N° 3425, Talca, Chile  
mgonzalez@utalca.cl

**Rodrigo A. Sánchez-Ramírez**

Centro de Estudios de Alimentos Procesados-CEAP,  
Av. San Miguel N° 3425, Talca, Chile  
rodrigosanchez@ceap.cl

### **RESUMEN**

En este trabajo se realiza un análisis de eficiencia considerando las temporadas comprendidas entre los años 2007 y 2010 para la producción de manzana deshidratada en una planta de la Región del Maule, Chile. La metodología utilizada es DEA, considerando variables discretionales dado que se presentan factores de producción que podrían ser controlados por el Departamento de Operaciones. Los resultados obtenidos indican que variables relacionadas a características de la fruta son relevantes para una mejor eficiencia del proceso de deshidratado, lo que tiene un impacto en reducción de costos relacionado a consumo de fruta fresca por kilogramo de producto deshidratado. Por esta razón, se constató que mientras mayor sea el tiempo de almacenamiento de la fruta fresca, peores serán los indicadores de calidad de la fruta al inicio del proceso, influyendo negativamente sobre los resultados de eficiencia de la producción.

**PALABRAS CLAVE.** Análisis de Eficiencia, Productividad, Industria de Alimentos Procesados.

**DEA – Análise Envoltória de Dados, OA - Outras aplicações em PO**

### **ABSTRACT**

In this work we make an efficiency analysis considering the seasons between 2007 and 2010 for the production of dried apple plant in the Region of Maule, Chile. The methodology used is DEA, considering both variables, discretionary and non discretionary, as are production factors that can not be controlled by the Operations Department. The results indicate that variables related to fruit characteristics are relevant for a better efficiency of dehydration process, which has an impact on fresh fruit consumption cost reduction per kilogram of dried product. For this reason, it was found that the longer the shelf life of fresh fruit, the worse the quality indicators of the fruit early in the process, adversely affecting the results of production efficiency.

**KEYWORDS.** Efficiency Analysis, Productivity, Processed Foods Industry.

**DEA – Data Envelopment Analysis, OA – Other Applications of OR**

## 1. Introducción

La mayoría de las frutas y las verduras contienen más del 80% de agua y por lo tanto una alta perecibilidad. La pérdida de agua y atenuante cuenta de sus pérdidas, que se estiman en más de un 30-40% en los países en desarrollo se deben al inadecuado manejo, transporte y almacenamiento de éstos. Además de pérdidas físicas y económicas, existen pérdidas graves que se producen en la disponibilidad de nutrientes esenciales, especialmente vitaminas y minerales. La necesidad de reducir las pérdidas en postcosecha de productos hortícolas perecederos es de suma importancia para los países en desarrollo para aumentar su disponibilidad, especialmente en el contexto actual, cuando las limitaciones de la producción de alimentos (tierra, agua y energía) no dejan de crecer. Es cada vez más evidente que la producción de más y mejores alimentos por sí sola no es suficiente y debe ir de la mano con adecuadas técnicas de conservación post-cosecha para minimizar las pérdidas, aumentando con ello los suministros y la disponibilidad de nutrientes además de dar un incentivo económico para producir más. Uno de los objetivos principales del procesamiento de alimentos es la de convertir los alimentos perecederos como las frutas y hortalizas en productos estabilizados que puedan ser almacenados por largos períodos de tiempo para reducir sus pérdidas de post-cosecha y con ello lograr generar valor agregado para el comercializador. A su vez, una gran cantidad de tecnologías de proceso han sido empleadas a escala industrial para conservar las frutas y hortalizas; las más importantes son conservas, congelación y deshidratación. Entre ellas, la deshidratación es especialmente adecuada para los países en desarrollo con un mal establecimiento de instalaciones de procesamiento de baja temperatura y térmicas. Esta ofrece un medio muy eficaz y práctico de conservación para reducir las pérdidas post-cosecha y compensar la escasez de la oferta. El presente estudio se centra en la evaluación de la eficiencia del proceso de deshidratado de manzanas.

El año 2008, Chile exportó un total de 65.453 Millones de dólares, distribuido en: Forestales (8,3%), Otros industriales (12,8%), Alimentos (19,1%) y Cobre-Minería (60,3%). Para el año 2009 la exportación de frutas y hortalizas procesadas ascendió a 1.244 millones de dólares, los cuales se distribuyen en; conservas (335 millones de dólares), deshidratados (452 millones de dólares), congelados (275 millones de dólares) y jugos (182 millones de dólares). En deshidratados, la exportación de manzanas deshidratadas alcanzó el 6.5% del total con un monto de 30 millones de dólares aproximadamente. Para el año 2010 las exportaciones de la Industria Alimentaria se mantuvieron cercanas a los 12.000 millones de dólares, cifras que pudieran mantenerse en el largo plazo. Para el caso de la empresa en la cuál se desarrolló el estudio, abarca cerca del 43% del total exportado nacional, por lo que el efecto de alguna mejora a partir de este trabajo se amplificaría notoriamente (Chile Alimentos, 2010).

Dada la importancia del mercado antes mencionado y las características del proceso industrial de deshidratación, el cual presenta alta sensibilidad al costo de la energía, se hace necesario mantener un control constante del desempeño de las operaciones con objeto mantener una evolución estable de la producción para asegurar un costo de producción dentro de los rangos establecidos. Por lo que una empresa necesita contar con información sobre la eficiencia del proceso productivo de la planta, con el fin de identificar áreas críticas y realizar las debidas acciones para mejorarlas. De esta forma, es imprescindible para una empresa reconocer cuáles son sus procesos benchmarks, los cuales podrá usar como referencia cuando sus prácticas sean ineficientes.

El método utilizado para llevar a cabo este análisis de la eficiencia fue el Análisis y Encapsulamiento de Datos o más conocido como DEA (abreviación del inglés Data Envelopment Analysis). Este método fue propuesto por Charnes et al. en 1978 y a partir de entonces ha conseguido gran difusión entre los investigadores (ver, por ejemplo, Gattoufi et al., 2004a) y mucha aceptación en las organizaciones, dado que permite modelar fácilmente sus procesos operativos. Además, los resultados que entrega DEA son fáciles de comprender e interpretar. Este hecho se ve reflejado en la gran cantidad de literatura sobre desarrollos teóricos y aplicaciones prácticas usando DEA surgidas luego de la publicación de su primer modelo (ver, por ejemplo, Gattoufi et al., 2004b, Tavares, 2002).

En conclusión, en este trabajo se realiza un análisis de eficiencia considerando las temporadas comprendidas entre los años 2007 y 2010 para la producción de manzana deshidratada en una planta de la Región del Maule. La situación analizada involucró la realización de dos enfoques para el análisis, donde, por un lado, se estudiaron factores netamente de producción y por otro, la incidencia de factores de calidad de la fruta fresca sobre los rendimientos del proceso de deshidratado. Los resultados obtenidos indican que variables relacionadas a características de la fruta son relevantes para una mejor eficiencia del proceso de deshidratado, lo que tiene un impacto en reducción de costos de combustible y consumo de fruta fresca por kilogramo de producto deshidratado. Por esta razón, se constató que mientras mayor sea el tiempo de almacenamiento de la fruta fresca, peores serán los indicadores de calidad de la fruta al inicio del proceso, influyendo negativamente sobre los resultados de eficiencia de la producción.

## 2. Modelos DEA usados para el Análisis de Eficiencia

Uno de los supuestos asumidos en el análisis de eficiencia del proceso de deshidratado de una planta procesadora de frutas y hortalizas fue considerar que el proceso productivo puede presentar rendimientos de escala crecientes, decrecientes o constantes, dependiendo de si un incremento de escala arriba o abajo de un valor máximo observado para cualquier *input* o *output*, no puede ser asumido como posible. Siendo así, el modelo DEA adecuado para tal supuesto corresponde al desarrollado por Banker *et al.* (1984), más conocido como modelo BCC (Banker, Charnes y Cooper) o VRS (*Variable Returns to Scale*). Cabe recordar que los rendimientos de escala reflejan el grado en que un incremento proporcional en todos los *inputs* incrementará los *outputs*.

Dado que la empresa también está interesada en obtener información sobre cuáles deben ser las metas para los procesos de producción ineficientes, ya sea maximizando el nivel de *outputs* mientras es mantenido constante el nivel de *inputs*, o minimizando el nivel de *inputs* mientras es mantenido constante el nivel de *outputs*, serán aplicados los modelos BCC con orientación a los *outputs* y a los *inputs*. La formulación matemática de estos modelos se presenta a continuación.

### 2.1. Modelo DEA BCC Orientado a los Outputs

En todo modelo DEA es calculada la eficiencia relativa de una dada DMU ( $DMU_0$ ), en relación al desempeño de las  $n$  DMUs observadas (incluida la DMU analizada), asumiendo que cada DMU consume  $m$  *inputs* para producir  $s$  *outputs*. En el caso del modelo DEA BCC orientado a los *outputs*, el objetivo es maximizar el nivel de *outputs* de la DMU analizada ( $DMU_0$ ), manteniendo constante su nivel de *inputs* observados. Además, asume rendimientos de escala variables. Considerando estos supuestos, la formulación del modelo DEA BCC orientado a los *outputs* es (Banker *et al.*, 1984):

$$(BCC_O) \quad \text{Max } \phi \quad (1)$$

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

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r = \phi y_{r0}, \quad r = 1, \dots, s, \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \quad (4)$$

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

$\phi$  no restringida.

Donde:

$j$  subíndice del conjunto de DMUs observadas, por lo tanto,  $j = 1, \dots, n$ ,

$i$  subíndice de los *inputs*,  $i = 1, \dots, m$ ,

$r$  subíndice de los *outputs*,  $r = 1, \dots, s$ ,

$\phi$  = proporción en que todos los *outputs* pueden ser aumentados,

$\lambda_j$  = intensidad de la participación de la DMU  $j$  en la construcción de la DMU “compuesta” o *benchmark*,

$x_{ij}$  = cantidad de *input*  $i$  consumido por la DMU  $j$ ,

$y_{rj}$  = cantidad de *output*  $r$  producido por la DMU  $j$ ,

$x_{i0}$  = cantidad de *input*  $i$  consumido por la DMU analizada (DMU<sub>0</sub>),

$y_{r0}$  = cantidad de *output*  $r$  producido por la DMU analizada (DMU<sub>0</sub>),

$s_i$  = holgura asociada al *input*  $i$ ,

$s_r$  = holgura asociada al *output*  $r$ .

Los  $y_{rj}$ ,  $x_{ij} \geq 0$  representan los valores observados de los  $s$  *outputs* y de los  $m$  *inputs*, respectivamente, para cada una de las  $n$  DMUs.

En el modelo  $BCC_o$ , la función objetivo (1) maximiza la proporción del nivel de *outputs* de la DMU<sub>0</sub>, representada por la variable  $\phi$ , que puede ser producida por el nivel de *inputs* observado. La restricción (2) impide que la DMU compuesta consuma más *inputs* que la DMU<sub>0</sub>. La restricción (3) impide que la expansión proporcional de los *outputs* de la DMU<sub>0</sub> sobrepase la frontera eficiente. Finalmente, la restricción (4) es conocida como la restricción de convexidad, la cual garantiza que las DMUs ineficientes sólo sean comparadas con DMUs que consumen un nivel de *inputs* similar al de ellas. Por lo tanto, la DMU compuesta es obtenida a través de una combinación lineal convexa de las DMUs observadas.

## 2.2. Modelo DEA BCC Orientado a los Inputs

El objetivo del modelo DEA BCC orientado a los *inputs* es minimizar el nivel de *inputs* de la DMU analizada (DMU<sub>0</sub>), manteniendo constante su nivel de *outputs* observados y asumiendo rendimientos de escala variables. Siendo así, la formulación del modelo DEA BCC orientado a los *inputs* es:

$$(BCC_I) \quad \text{Min } \theta \quad (5)$$

$$\text{s.a. } \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i = \theta x_{i0}, \quad i = 1, \dots, m, \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r = y_{r0}, \quad r = 1, \dots, s, \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \quad (8)$$

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

$\theta$  no restringida.

Donde la definición de los parámetros y variables es la misma que la presentada para el modelo  $BCC_o$ , salvo por la introducción de la nueva variable  $\theta$ , que representa proporción en que todos los *inputs* pueden ser reducidos.

En el modelo  $BCC_I$ , la función objetivo (5) minimiza la proporción del nivel de *inputs* de la DMU<sub>0</sub>, representada por la variable  $\theta$ , que puede ser usada para producir por lo menos el mismo nivel de *outputs*. La restricción (6) garantiza la reducción proporcional de los *inputs* hasta alcanzar la frontera eficiente. La restricción (7) impide que la DMU compuesta produzca menos *outputs* que la DMU<sub>0</sub>. Finalmente, la restricción de convexidad (8) garantiza que las DMUs ineficientes sólo sean comparadas con DMUs que producen un nivel de *outputs* similar al de ellas.

## 3. Factores Considerados en los Modelos DEA BCC

El análisis de eficiencia realizado para el proceso de deshidratado de manzanas consideró como DMU a cada lote de producción efectuado en la temporada 2010. Debido a que cada variedad requiere un tratamiento diferente, no es posible considerar los lotes procesados de diferentes variedades de manzanas como homogéneos. Esto se debe a que las variedades poseen

características organolépticas, de calidad y origen distintas y, por lo tanto, presentan comportamientos distintos durante el proceso. Por este motivo, fue hecho un análisis de eficiencia según cada variedad, origen y tipo de manzana procesada. El número de DMUs (lotes) analizado según el tipo de variedad procesada se muestra en la Tabla N° 1.

**TABLA N° 1. NÚMERO DE DMUs ANALIZADAS SEGÚN TIPO DE VARIEDAD, ORIGEN Y TIPO DE MANZANA**

Segregación	Variedad		Origen de la fruta		Tipo de Fruta	
	Fuji	Granny Smith	Huerto	Packing	Ordinaria	Orgánica
N° de Lotes Analizados	221	631	670	599	1070	199

Respecto de la tabla anterior, para un mejor análisis y representación de la situación actual de la empresa se llevó a cabo una segregación de los datos con respecto a variedad de manzanas, origen de la fruta y tipo de fruta. Respecto de la segregación por Origen y Tipo de fruta, éstas consideran las variedades antes nombradas más la Pink Lady, Red Delicious, Johan Gold, Braeburn, entre otras. Lo anterior debido a que el número de DMUs por sí solas no era un conjunto representativo, además que, para el proceso de deshidratado, el comportamiento de estas últimas variedades es similar.

Además, para evaluar la eficiencia de cada lote fueron considerados cinco *inputs* y un *output* en cada segregación estudiada.

Los *inputs* usados en el análisis fueron los siguientes:

- Almacenamiento: corresponde al tiempo, en días, el cual la fruta permaneció en las bodegas de atmósfera controlada.
- Calibre B: esta variable corresponde al porcentaje de fruta que posee un tamaño Calibre B dentro de una muestra de calidad de un lote de producción.
- Turgencia: esta variable corresponde a la presión promedio de la fruta, medida en libras, dentro de una muestra de calidad de un lote de producción.
- Contenido de azúcar: esta variable representa al grado de dulzor promedio con que llega la manzana antes de ingresar al proceso, medida por los grados *Brix*, dentro de una muestra de calidad de un lote de producción.
- Machucada fuerte: esta variable corresponde al porcentaje de fruta que presenta daño por machucón antes de ingresar a proceso dentro de una muestra de calidad de un lote de producción.
- Kilogramos Húmedos: corresponde al total de fruta ingresada al proceso, medida en kilogramos, de un lote determinado.

El *output* identificado en el estudio es:

- Kilogramos Secos: esta variable representa la cantidad total de kilogramos de manzana deshidratados al final de todo el proceso.

A continuación se presenta un resumen de los principales resultados obtenidos luego de aplicar los modelos definidos en la sección 2.

#### 4. Principales resultados

Los principales resultados para cada variedad, origen y tipo de manzana se resumen en siguiente la tabla.

**TABLA N°2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE EFICIENCIA PARA SEGREGACIÓN DE FRUTA**

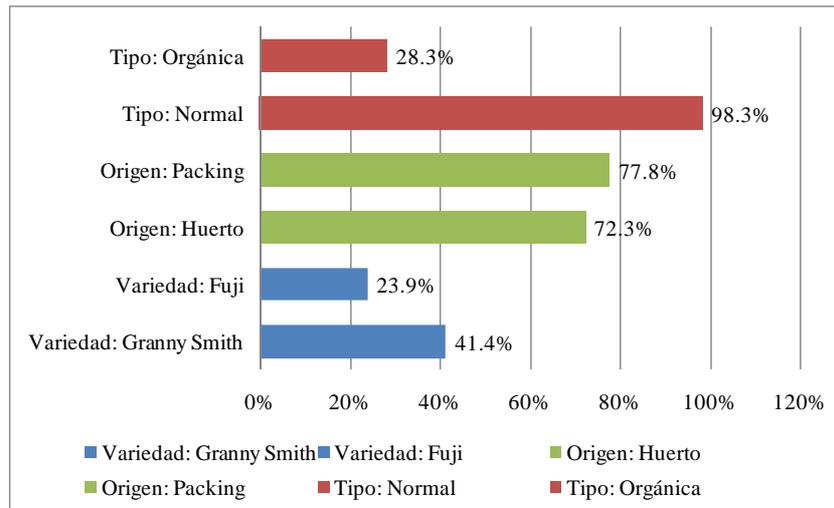
	BCC Inputs			BCC Outputs		
	N° de lotes eficientes	Eficiencia Promedio (%)	Desviación Estándar (%)	N° de lotes eficientes	Eficiencia Promedio (%)	Desviación Estándar (%)
<b>Variedad:</b> Granny Smith	41	44.8%	23.3%	41	169.4%	41.6%
<b>Variedad:</b> Fuji	60	92.4%	6.8%	60	130.8%	44.7%
<b>Origen:</b> Huerto	74	88.7%	7.0%	74	181.1%	62.1%
<b>Origen:</b> Packing	94	90.3%	7.0%	94	189.2%	82.0%
<b>Tipo:</b> Ordinaria	112	87.7%	7.4%	112	211.7%	87.8%
<b>Tipo:</b> Orgánica	53	92.4%	6.6%	53	132.9%	33.9%

Observando los resultados presentados en la tabla 2, es posible notar que en los modelos DEA BCC, las medidas de eficiencia asociadas a las DMUs ineficientes pueden ser diferentes entre los modelos orientados a los *inputs* y a los *outputs*, de ahí que haya sido obtenido un promedio de eficiencia diferente según la orientación del modelo. Sin embargo, dado que los modelos DEA BCC estiman la misma frontera, las unidades identificadas como eficientes deben ser las mismas (Coelli *et al.*, 1998). Además, Banker *et al.* (1996) notaron que, para una DMU ineficiente, pueden ser obtenidos diferentes rendimientos de escala a partir de los modelos BCC orientados a los *inputs* y a los *outputs*. Este hecho no ocurre si la DMU analizada presenta un desempeño eficiente.

Analizando los resultados obtenidos a través del modelo BCC orientado a los *inputs*, se puede observar que los lotes involucrados en el proceso de producción de la variedad Fuji y las manzanas orgánicas presentaron un mayor promedio de eficiencia técnica, con un 92.4 porcentaje promedio de eficiencia, seguido por la fruta proveniente de *Packing* con un 90.3 por ciento respectivamente. Es interesante comentar que estos lotes presentan y segregaciones, además, una baja dispersión de en la eficiencia, lo que señala que la muestra analizada tuvo un desempeño homogéneo con respecto a los niveles de producción. Por otro lado, los turnos menos eficientes fueron los relacionados con la fruta Ordinaria y proveniente de Huerto, presentando un promedio de eficiencia de 87.7 y 88.7 por ciento respectivamente. Se puede observar que si bien la eficiencia está por debajo de las mejores prácticas, presenta una dispersión y número de lotes eficientes similares a la de los lotes con un mejor desempeño.

En relación a los resultados entregados por el modelo BCC orientado a los *outputs*, se observa que los lotes asociados a la segregación por variedad Fuji y fruta Orgánica son los más eficientes con un promedio del 130.8 y 132.9 por ciento respectivamente. Mientras que la fruta Ordinaria y proveniente de *Packing* presentan las peores eficiencias promedio con un 211.7 y 189.2 por ciento, respectivamente. Esto muestra que el proceso de estas clasificaciones o segregaciones de manzana provenientes Podrían mejorar sensiblemente la eficiencia técnica, pues dado su nivel de utilización de recursos debiesen obtener un mejor desempeño.

Otros resultados interesantes entregados por los modelos BCC señalan la existencia de márgenes importantes de mejoras en el uso de los recursos y en el incremento de los niveles de producción. En la Figura 1 se muestra el porcentaje promedio del aumento en los niveles de producción que deberían realizar lotes ineficientes con el fin de alcanzar la eficiencia técnica. Este aumento porcentual ha sido calculado para el *output* (kilogramos deshidratados), según segregación de fruta analizada.



**FIGURA 1: AUMENTO PORCENTUAL ESTIMADO PARA LOS OUTPUTS**

Es interesante señalar que el aumento potencial promedio para “kilogramos deshidratados” es de 57.0 por ciento en general. Específicamente, para el “Tipo de fruta Orgánica” es de un 28.3 por ciento, para la fruta Ordinaria o Normal es de un 98.3 por ciento. Para la segregación “Origen”, para el caso de la fruta proveniente de *Packing* la mejora porcentual alcanza un 77.8 por ciento y de un 72.3 por ciento para la proveniente de Huerto. Finalmente, para la segregación de fruta por tipo de variedad, el aumento potencial para las manzanas de variedad Fuji es de un 23.9 por ciento y un 41.4 por ciento para la Granny Smith. Por lo tanto, la segregación que requiere mayor incremento en el nivel de producción del *output* son las Manzanas Ordinarias, y que demás son las más utilizadas.

Los resultados obtenidos en lo referente a las mejoras en el uso de los recursos empleados para el procesamiento de las diferentes segregaciones de manzanas, se resumen en la Figura 2. En esta figura se muestra la reducción porcentual promedio de los *inputs* (Almacenamiento, Calibre B, Turgencia, Contenido de azúcar, Machucada fuerte y kilogramos frescos) para que los lotes ineficientes alcancen la eficiencia, según cada segregación de fruta procesada.

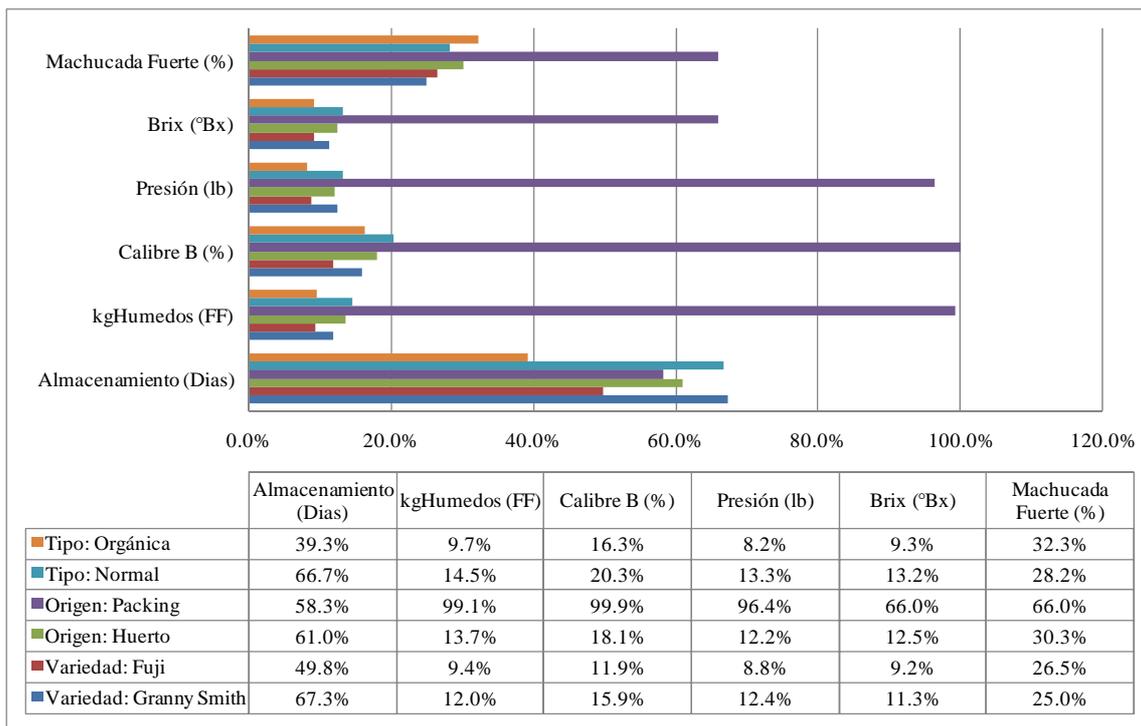


FIGURA 2: REDUCCIÓN PORCENTUAL ESTIMADA PARA LOS INPUTS

De acuerdo a la tabla anterior, para el caso de la variable “Almacenamiento”, los lotes procesados de variedad Granny Smith presentan la mejora potencial más alta, es decir, una reducción promedio del 67.3 por ciento en el tiempo de almacenamiento. Con respecto a la fruta proveniente de *Packing*, ésta presenta los mayores porcentajes de mejoras potenciales en la utilización de recursos, mostrando una mejora del 99.1 por ciento en la utilización de kgHúmedos, un 99.9 por ciento en el tamaño de la manzana, dado por Calibre B, un 96.4 por ciento con respecto a presión, un 66 por ciento en relación al Contenido de azúcar y finalmente, un 66 por ciento en el porcentaje de fruta con daño por Machucada Fuerte.

Lo anterior significa, por ejemplo, que para alcanzar la frontera de eficiencia, en promedio, el porcentaje de fruta calibre B debiese disminuir en un 99.9 por ciento y el daño por Machucada Fuerte un 66 por ciento.

## 5. Conclusiones

A través de los modelos DEA BCC fue posible calcular una medida de eficiencia para cada lote procesado, identificar los lotes eficientes y entregar *benchmarks* a los lotes ineficientes según cada segregación o clasificación realizada. Este hecho es relevante para una empresa, ya que le permite determinar las posibles causas de las ineficiencias, además de estimar las posibles mejoras en los niveles de producción y en el uso de los recursos.

Dada la utilidad de los resultados obtenidos a través de los modelos DEA, la gerencia de la empresa ha implementado esta metodología en la planta procesadora de manzanas y pretende extender este tipo de análisis de eficiencia a las demás plantas de la empresa.

## Referencias

- Mujumdar, A., *Handbook of Industrial Drying*, Third Edition. CRC Press 2007
- Banker, R.D., Bardhan, I., Cooper, W.W. (1996), *A Note on Returns to Scale in DEA*, European Journal of Operational Research, 88, 583-585.
- Banker, R.D., Charnes, A. and Cooper, W.W. (1984), *Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis*, Management Science, 30 (9), 1078-1092.

- Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E.** (1978), *Measuring the Efficiency of Decision Making Units*, European Journal of Operational Research, 2, 429-444.
- ChileAlimentos** (2010), *Estadísticas 1981-2009*,  
<http://www.chilealimentos.com/medios/Servicios/Estadisticas/Historicas/Estadisticas1981-2009.pdf>
- Coelli, T.J., Prasada Rao, D.S., Battese, G.E.** (1998). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, 1 ed., Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Farrell, M.J.** (1957), *The Measurement of Productive Efficiency*, Journal of Royal Statistical Society Series A, 120 (3), 253-281.
- Gattoufi, S., Oral, M., Kumar, A. and Reisman, A.** (2004a), *Epistemology of Data Envelopment Analysis and Comparison with other Fields of OR/MS for Relevance to Applications*, Socio-Economic Planning Sciences, 38 (2-3), 123-140.
- Gattoufi, S., Oral, M. and Reisman, A.** (2004b), *Data Envelopment Analysis Literature: a Bibliography Update (1951–2001)*, Socio-Economic Planning Sciences, 38 (2-3), 159-229.
- Tavares, G.** (2002), *A Bibliography of Data Envelopment Analysis (1978–2001)*, RRR 01-2002, January 2002, RUTCOR – Rutgers Center for Operations Research, Rutgers University, New Jersey, United States.