

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA TÉCNICA EN PLANTAS DE CONGELADO MEDIANTE DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

Carolina Urzúa Bobadilla

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

Marcela C. González-Araya

Departamento de Modelación y Gestión Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca,
Merced 437, Curicó, Chile
mgonzalez@utalca.cl

RESUMEN

Se realiza la evaluación técnica de plantas de congelado de *berries* mediante *Data Envelopment Analysis* (DEA), con el fin de establecer brechas tecnológicas y productivas para mejorar la competitividad de un grupo de empresas del sector de congelados. Los datos usados fueron levantados durante la temporada 2012 a 9 empresas localizadas en la Región del Maule, Chile. Los resultados obtenidos indican el posicionamiento y la eficiencia de cada una de las plantas de congelado analizadas, mostrando que existen ineficiencias en el tiempo permanencia de la fruta antes de ser procesada, lo cual tiene un impacto importante en la calidad del producto, así como ineficiencias en el consumo energético, que representa uno de los ítems más altos en la estructura de costos de estas empresas. Además, se muestra la utilidad de DEA como herramienta de apoyo a las decisiones para el sector, que en su mayoría desconoce este tipo de herramientas.

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

DEA – Análisis envolvente de datos, OA- Otras aplicaciones de PO

ABSTRACT

A technical evaluation of frozen berries factories using Data Envelopment Analysis (DEA) is carried out in order to establish technological and productive gaps and to improve the sector's competitiveness. The used data were obtained during 2012 season from 9 companies located in Maule Region, Chile. The obtained results show the position and efficiency for each processing frozen berries factory, as inefficiencies in the fruit dwell time before to be processed, which has a significant impact over product quality, and also inefficiencies in energy consumption, which represents one of the highest items in the companies' cost structure. In addition, the usefulness of DEA as a decision support tool for the sector, which does not know this kind of tools.

KEYWORDS. Efficiency Analysis, Productivity, Processed Foods Industry.

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

1. Introdução

Las exportaciones chilenas de alimentos procesados hortofrutícolas representan el 0,64% del volumen comercializado en el mundo y un 1,16% respecto al valor FOB de las exportaciones, en dólares americanos, según cifras de 2009 (Centro de Competitividad del Maule, 2010). En este sentido, Chile es un país exportador de productos congelados, en conserva, jugos y deshidratados. Sin embargo, a pesar de su baja participación en las exportaciones del mercado de alimentos procesados hortofrutícolas mundial, alcanza lugares destacados en el comercio de varios de sus sub-sectores. Así por ejemplo, Chile se ubica en el lugar número 11 en las exportaciones mundiales de frutas y hortalizas congeladas. De acuerdo a las estadísticas de Chilealimentos A.G., ocupa el segundo lugar en la exportación de frambuesa congelada (ODEPA, 2012a)

En cuanto a la fruta congelada que Chile exporta, ésta se concentra principalmente en exportaciones de los siguientes *berries*: frambuesas, frutilla y mora; y, en menor cantidad de arándanos, kiwi, uva, durazno, boysenberry, cereza, damasco, melón, manzana y castaña. En el caso de los productos congelados hortícolas, destacan las exportaciones de espárragos, hongos, maíz, mezclas de hortalizas y arvejas. Además, se exporta en menor volumen pimentón, habas, papas, brócoli, poroto granado, poroto verde y coliflor (ODEPA, 2012a).

La Región del Maule es responsable del 41% de las exportaciones chilenas de frambuesa congelada (*raspberry*), siendo el principal producto congelado exportado por Chile, el cual alcanzó los US\$ 128,48 millones en el año 2012. Por otro lado, la mora o *Blackberry*, durante la temporada 2011 llegó al 47% de las exportaciones chilenas de frutas y hortalizas congeladas, con un monto de US\$ 32,13 millones, ocupando el cuarto lugar (ODEPA, 2012b).

De acuerdo a un estudio realizado por ODEPA (2012a), se logró identificar la existencia de 246 plantas de procesamiento de frutas y hortalizas, de las cuales, 47 corresponden a plantas de congelado. En la Región del Maule se localizan 20 de ellas, concentrando el mayor número de plantas a nivel nacional. Entre estas plantas de procesamiento, se encuentran grandes empresas que procesan altos volúmenes y diversos productos hortofrutícolas, ya sea para venta en el mercado nacional o para exportación.

Los productos congelados son exportados principalmente en su calidad IQF (del inglés *Individual Quick Freezing*), nombre que se da por el tipo de proceso de congelado al cual son sometidos, que corresponde a un congelado individual y rápido. Adicionalmente, existen otras calidades de producto que también son exportadas, pero que son utilizadas como materia prima en otras industrias. En el caso de la producción de *berries* (frambuesa, frutilla, mora, arándano, boysenberry, entre otros), el principal producto es IQF, calidad que no siempre se logra dado a brechas tecnológicas y productivas que se presentan, tanto en la producción de fruta en el campo, como en la etapa de procesamiento en plantas. Bajo esta perspectiva, el Centro de Estudios en Alimentos Procesados (CEAP), en conjunto con la Corporación de Desarrollo Social del Sector Rural (CODESSER) y apoyados por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), llevaron a cabo un proyecto de transferencia tecnológica. El objetivo principal de este proyecto fue identificar y disminuir las brechas tecnológicas y productivas que afectan la competitividad de este sector, mediante la prospección, difusión y transferencia de tecnologías industriales para optimizar el proceso. Es en el marco de este proyecto que se lleva a cabo un análisis de productividad, eficiencia y *benchmarking* para 9 plantas de congelado, con el fin de estudiar y validar las brechas detectadas. Dada la importancia de este sector para la Región del Maule y para Chile, este estudio entrega un análisis objetivo que compara la realidad operacional del sector, siendo una aplicación innovadora para el sector y para el país. Además, el análisis propone metas alcanzables a las plantas que no son eficientes y unidades de referencia con las cuales compararse y compartir experiencias.

A continuación se describen los modelos DEA utilizados en el análisis. En la sección 3 se presentan los factores (entradas y salidas) usados en el análisis. Posteriormente, los principales resultados son mostrados en la Sección 4 y en la Sección 5 se exponen las conclusiones.

2. Modelo DEA utilizado para en Análisis de Eficiencia

El método utilizado para el análisis de eficiencia en este estudio es conocido como Análisis de Encapsulamiento de Datos (DEA, por sus siglas en inglés *Data Envelopment Analysis*). En este método, basado en programación matemática, la eficiencia es tratada como un concepto relativo, que depende de la comparación de unidades organizacionales disponibles en una muestra, considerando los múltiples recursos utilizados y las múltiples salidas observadas. Fue propuesto por Charnes *et al.* (1978) para identificar funciones de producción empíricas, basadas en las mejores prácticas observadas, entregando como información para las unidades evaluadas, un índice de eficiencia relativa y unidades de referencia para las unidades ineficientes.

En el análisis de eficiencia realizado, las unidades organizacionales o DMUs (*Decision Making Units*), corresponden a cada una de las plantas de congelado, debido a que se busca comparar el desempeño entre ellas. Además, se aplicaron dos tipos de modelos de DEA, siendo éstos los modelos que consideran rendimientos de escala variables (BCC – Banker, Charnes y Cooper, 1984), tanto orientados a las entradas, como a las salidas (Cooper *et al.*, 2007). Por otro lado, para el cálculo de la eficiencia de escala (Banker *et al.*, 1984), fue necesario aplicar los modelos DEA con rendimientos de escala constantes (CCR – Charnes, Cooper y Rhodes, 1978).

Es importante mencionar que los rendimientos de escala reflejan el grado en el que un aumento proporcional de todas las entradas incrementará las salidas, por lo tanto, los modelos con rendimientos de escala variables estiman una frontera de producción que varía de acuerdo al nivel de producción alcanzado, presentando rendimientos crecientes, constantes o decrecientes. Los rendimientos de escala crecientes se presentan en una unidad organizacional, cuando un aumento proporcional de todas las entradas resulta en un aumento más que proporcional de las salidas. Los rendimientos de escala constantes se presentan en una unidad organizacional, cuando un aumento proporcional de todas las entradas resulta en el mismo aumento proporcional de las salidas. Los rendimientos de escala decrecientes se presentan en una unidad organizacional, cuando un aumento proporcional de todas las entradas resulta en un aumento menos que proporcional de las salidas (Coelli *et al.*, 2005).

Al respecto, la mayoría de los sectores productivos opera con rendimientos de escala variables, existiendo pocos sectores en los cuales se opera con rendimientos de escala constante. Por otro lado, los modelos orientados a las entradas tienen por objetivo minimizar el nivel de entradas, produciendo por lo menos el mismo nivel de salidas observadas, mientras que, los modelos orientados a las salidas tienen por objetivo maximizar el nivel de salidas, manteniendo constante el nivel de entradas observadas. Las formulaciones y descripción detallada de estos modelos pueden ser encontradas en Cooper *et al.* (2007), Coelli *et al.* (2005) y Cooper *et al.* (2004).

Cabe mencionar que los modelos DEA han conseguido gran difusión entre los investigadores y practicantes, según lo que refleja el trabajo de Liu *et al.* (2013), ya que, en estos últimos años, las aplicaciones prácticas han crecido más que las investigaciones teóricas de DEA. Además, los resultados que entrega DEA son fáciles de comprender e interpretar. Por otro lado, los principales desarrollos metodológicos acontecidos después del surgimiento del primer modelo DEA (Charnes *et al.*, 1978) son descritos en el artículo de Cook y Seiford (2009).

2.1. Modelo DEA BCC Orientado a los Inputs

En todo modelo DEA es calculada la eficiencia relativa de una dada unidad de decisión (DMU_0), en relación al desempeño de las n unidades observadas (*Decision Making Units* – DMUs), incluida la unidad analizada, asumiendo que cada unidad consume m *inputs* para producir s *outputs*.

El objetivo del modelo DEA BCC orientado a los *inputs* es minimizar el nivel de *inputs* de la DMU analizada (DMU_0), 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 (Banker *et al.*, 1984):

$$(BCC_I) \quad \text{Min } \theta \quad (1)$$

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

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

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

$$s_i, s_r, \lambda_j \geq 0, \quad i = 1, \dots, m, \quad r = 1, \dots, s, \quad j = 1, \dots, n, \quad (5)$$

$$\theta \text{ no restringida.} \quad (6)$$

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*, $r = 1, \dots, s$,

θ = proporción en que todos los *inputs* pueden ser reducidos,

λ_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 (DMU₀),

y_{r0} = cantidad de *output* r producido por la DMU analizada (DMU₀),

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_I , la función objetivo (1) minimiza la proporción del nivel de *inputs* de la DMU₀, representada por la variable θ , que puede ser usada para producir por lo menos el mismo nivel de *outputs*. La restricción (2) garantiza la reducción proporcional de los *inputs* hasta alcanzar la frontera eficiente. La restricción (3) impide que la DMU compuesta produzca menos *outputs* que la DMU₀. La restricción (4) es conocida como la restricción de convexidad, la cual garantiza que las DMUs ineficientes sólo sean comparadas con DMUs con niveles de producción (*outputs*) similar al de ellas. Por lo tanto, la DMU compuesta es obtenida a través de una combinación lineal convexa de las DMUs observadas. La restricción (5) corresponde a la restricción de no negatividad de las variables, mientras que la restricción (6) establece que θ es una variable no restringida.

Para la formulación matemática del modelo DEA CCR orientado a los *inputs* (modelo CCR_I), la restricción de convexidad (4) debe ser eliminada (Charnes *et al.*, 1978). La definición e interpretación de las variables es la misma que para el modelo DEA BCC orientado a los *inputs* (modelo BCC_I).

2.2. Modelo DEA BCC Orientado a los Outputs

En el caso del modelo DEA BCC orientado a los *outputs*, el objetivo es maximizar el nivel de *outputs* de la DMU analizada (DMU₀), 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):

$$(BCC_o) \quad \text{Max } \phi \quad (7)$$

$$\text{s.a. } \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i = x_{i0}, \quad i = 1, \dots, m, \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r = \phi y_{r0}, \quad r = 1, \dots, s, \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \quad (10)$$

$$s_i, s_r, \lambda_j \geq 0, \quad i = 1, \dots, m, \quad r = 1, \dots, s, \quad j = 1, \dots, n, \quad (11)$$

$$\phi \text{ no restringida.} \quad (12)$$

Donde la definición de los parámetros y variables es la misma que la presentada para el modelo BCC_I , salvo por la introducción de la nueva variable ϕ , que representa la proporción en que todos los *outputs* pueden ser aumentados.

En el modelo BCC_o , la función objetivo (7) maximiza la proporción del nivel de *outputs* de la DMU_0 , representada por la variable ϕ , que puede ser producida por el nivel de *inputs* observado. La restricción (8) impide que la DMU compuesta consuma más *inputs* que la DMU_0 . La restricción (9) impide que la expansión proporcional de los *outputs* de la DMU_0 sobrepase la frontera eficiente. La restricción de convexidad (10) garantiza que las $DMUs$ ineficientes sólo sean comparadas con $DMUs$ que producen niveles de consumo (*inputs*) similar al de ellas. La restricción (11) corresponde a la restricción de no negatividad de las variables, mientras que la restricción (12) establece que ϕ es una variable no restringida.

Tal como ocurre para el modelo DEA CCR orientado a los *inputs*, la formulación matemática del modelo DEA CCR orientado a los *outputs* (modelo CCR_o) es similar a la formulación del modelo DEA BCC orientado a los *outputs* (modelo BCC_o). En el modelo CCR_o , la restricción de convexidad (10) debe ser eliminada (Charnes *et al.*, 1978). La definición e interpretación de las variables es la misma que para el modelo DEA BCC orientado a los *outputs*,

2.3. Eficiencia de Escala

La puntuación de eficiencia de los modelos BCC es conocida como eficiencia técnica local pura, pues expresa la eficiencia bajo rendimientos de escala variables, mientras que la puntuación de eficiencia de los modelos CCR es conocida como eficiencia técnica global, dado que no considera los efectos de escala. De esta forma, la eficiencia de escala (SE) se calcula como la razón entre la eficiencia técnica global (CCR) y la eficiencia técnica local (BCC), permitiendo determinar las fuentes de ineficiencia de una DMU (Banker *et al.*, 1984). Así, se puede identificar si una unidad organizacional es ineficiente debido a que ella opera ineficientemente o debido a que existen condiciones desfavorables en las cuales opera. Si una DMU tiene SE igual a 100%, se dice que esta DMU opera en el tamaño de escala más productivo. Por otro lado, si una DMU es eficiente aplicando el modelo BCC , pero tiene una baja puntuación de eficiencia aplicando el modelo CCR , se dice que esta DMU opera localmente eficiente, pero no globalmente eficiente, debido al tamaño de la escala en que opera (Coelli *et al.*, 2005).

Sea SE (13) la eficiencia de escala, cualquiera sea la orientación del modelo, E_{CCR} corresponde a la puntuación de eficiencia obtenida por el modelo CCR , E_{BCC} corresponde a la puntuación de eficiencia obtenida por el modelo BCC . Por lo tanto, la fórmula de SE es:

$$SE = \frac{E_{CCR}}{E_{BCC}} \quad (13)$$

3. Factores considerados en el Análisis de Eficiencia

Para el análisis de eficiencia realizado al sector de congelados, cada DMU corresponde a una planta de congelado (PC), cuya información ha sido levantada durante la temporada 2012. Estas plantas tienen operaciones semejantes y utilizan las mismas entradas para producir las mismas salidas. Además, se asume que el acceso a la tecnología es igual para todas, por lo tanto, es posible considerarlas como unidades homogéneas.

Los datos utilizados fueron obtenidos a partir de 9 plantas de congelado, que corresponden a un tercio de las plantas existentes en la Región del Maule, Chile, a través de una encuesta realizada el año 2012. En esta investigación se seleccionaron los factores con mayor impacto en el desempeño de las plantas de congelado. De esta manera, las entradas seleccionadas y que se busca minimizar son:

- Consumo de energía promedio mensual (CE), medido en kWh/mes: como se mencionó anteriormente, el costo de la energía es uno de los ítemes más alto dentro de la estructura de costos de las plantas de congelado. Este consumo se concentra principalmente en 5 meses (noviembre a marzo), relacionados con las temporadas de cosecha de los *berries*.
- Promedio de horas-hombre por día (HH), medida en horas-hombre por día: como todas las plantas agroindustriales, el uso de mano de obra es intensivo y también es un ítem alto en la estructura de costos de producción. Al igual que el consumo de energía, su utilización se concentra desde noviembre a marzo.
- Tiempo permanencia de la fruta antes de ser procesada (TP), medido en horas: una vez que llega la fruta a la planta de congelado, es almacenada en cámaras y túneles de congelado, a la espera a ser procesada.

Por otro lado, las salidas seleccionadas y que se buscan maximizar corresponden a:

- Rendimiento promedio diario (RP), medido en kilogramos/día: corresponde a la cantidad de fruta procesada diariamente.
- Calidad del producto final (IQF – *Individual Quick Freezing*), medido en porcentaje: corresponde al porcentaje del producto que queda completamente congelado (IQF).

Los datos de estos factores están disponibles para todas las empresas y permiten analizar todas las plantas de congelado de la muestra. Las observaciones de estos factores son presentados en la Tabla 1.

TABLA 1. FACTORES DE ENTRADA Y SALIDA

Planta de Congelado (PC)	Entradas			Salida	
	CE	HH	TP	RP	IQF
PC1	53.732,84	208	72	4.000	77,0
PC2	94.321,50	440	48	6.000	75,0
PC3	195.566,29	1.290	168	13.500	70,0
PC4	146.614,71	1.200	48	15.000	70,0
PC5	64.969,90	986	12	18.000	77,5
PC6	165.150,00	218	30	7.493	79,7
PC7	70.000,00	540	960	10.000	70,0
PC8	98.802,82	720	48	15.000	72,0
PC9	56.892,50	360	24	10.500	70,0

4. Principales Resultados

Con las variables presentadas en la Tabla 1 fueron aplicados los modelos DEA-BCC orientados a las entradas y salidas. A continuación en la Tabla 2, se muestra un resumen de los resultados obtenidos del análisis de eficiencia.

TABLA 2. RESUMEN DE RESULTADOS AL APLICAR MODELOS BCC

Entradas	Salidas	PC Eficientes	Plantas Ineficientes	DEA BCC _I	DEA BCC _O
				% Promedio de Reducción de las Entradas	% Promedio de Aumento de las Salidas
HH	RP	1, 5, 6, 8 y 9	2, 3, 4 y 7	-35,45%	21,64%
TP				-32,50%	
CE	IQF			-38,18%	8,97%

En la Tabla 2 se observa que las unidades que presentan un desempeño eficiente son las plantas de congelado 1, 5, 6, 8 y 9, mientras que las que tienen un desempeño ineficiente son las plantas de congelado 2, 3, 4 y 7. En esta tabla se observa que al aplicar el modelo orientado a las entradas (BCC_I), en promedio, las entradas de las PCs ineficientes debieran reducirse en más de un 30%.

El porcentaje de entradas que debieran utilizar las empresas ineficientes, el cual corresponde al índice de eficiencia obtenido al aplicar el modelo BCC_I, es presentado en la Figura 1. Por ejemplo, la planta que tiene un peor desempeño en relación al sector, es PC3, la cual debiera usar a lo más el 47% de sus entradas (CE, HH y TP), con el fin de producir el mismo nivel de salidas (RP e IQF).

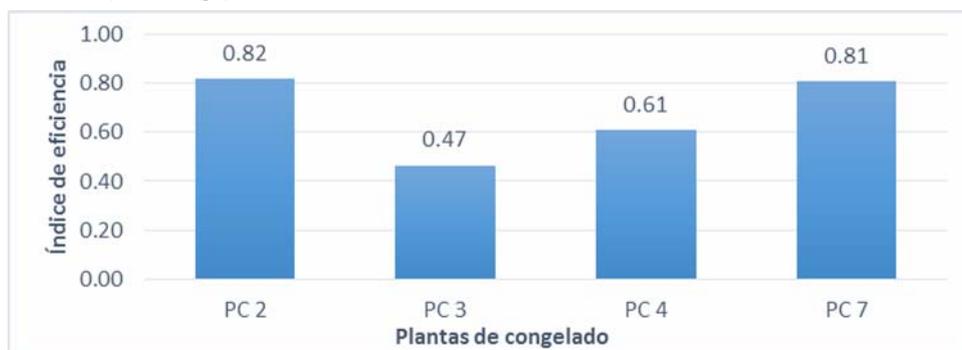


FIGURA 1. ÍNDICE DE EFICIENCIA DE PCS INEFICIENTES (MODELO BCC_I)

Por otro lado, en el análisis orientado a las salidas (BCC_O), las plantas ineficientes son las mismas, dado que la frontera eficiente no cambia (ver Tabla 2). En este análisis, el rendimiento promedio diario (RP) de las PCs ineficientes debiera aumentar en promedio sobre un 20%, mientras que el porcentaje de IQF, en promedio, debiese aumentar casi un 9%.



FIGURA 2. ÍNDICE DE EFICIENCIA DE PCS INEFICIENTES (MODELO BCC_O)

En la Figura 2 son mostrados los porcentajes en que las empresas ineficientes deben aumentar las salidas, el cual corresponde al índice de eficiencia obtenido al aplicar el modelo BCC_o . De esta manera, las plantas que tienen un peor desempeño en relación al sector, son las PC 3 y PC 4, debiendo aumentar sus salidas (RP e IQF) en aproximadamente 11,59% y 11,11%, respectivamente, manteniendo constante su actual nivel de entradas (CE, HH y TP).

La planta de congelado más referenciada en los resultados del modelo orientado a las entradas, es la PC9, siendo referenciada por 4 plantas ineficientes. Por otra parte, las plantas de congelado más referenciadas en el modelo orientado a las salidas, son PC5 y PC6, siendo referenciadas por 4 plantas ineficientes cada una. Esta información es relevante para estudiar las prácticas de estas empresas, con el fin de apoyar a las plantas ineficientes a mejorar sus procesos.

Las metas propuestas para las entradas de las plantas ineficientes, las cuales fueron obtenidas a partir del modelo BCC_i , se pueden apreciar en la Figura 3. Los bloques de color verde representan los valores observados y los bloques de color azul, las metas respectivas.

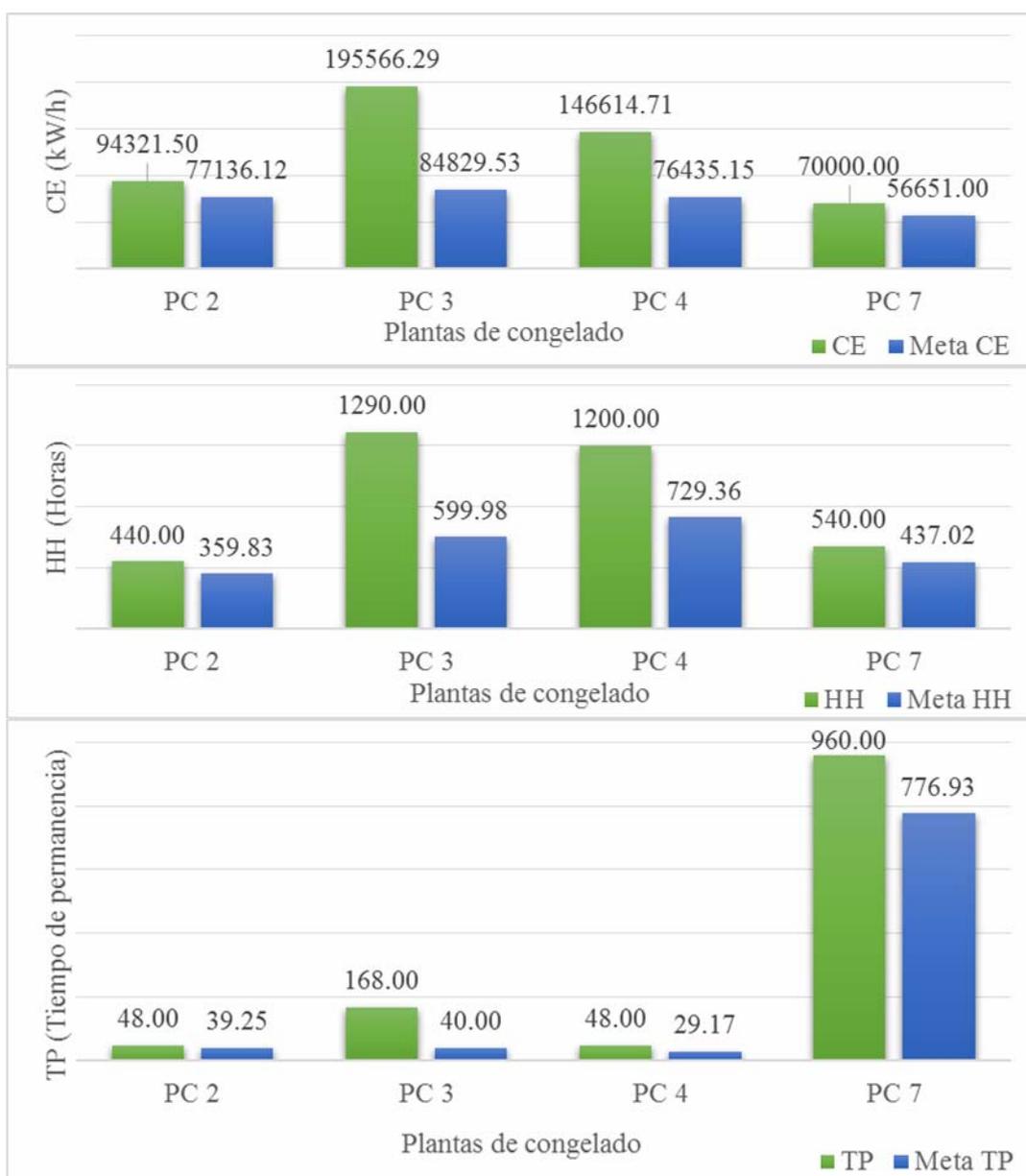


FIGURA 3. METAS PARA LAS ENTRADAS USADAS POR PCs INEFICIENTES (MODELO BCC_i)

Por otro lado, cuando se aplica el modelo BCC_o , las metas obtenidas para las salidas de las PCs ineficientes se muestran en la Figura 4.

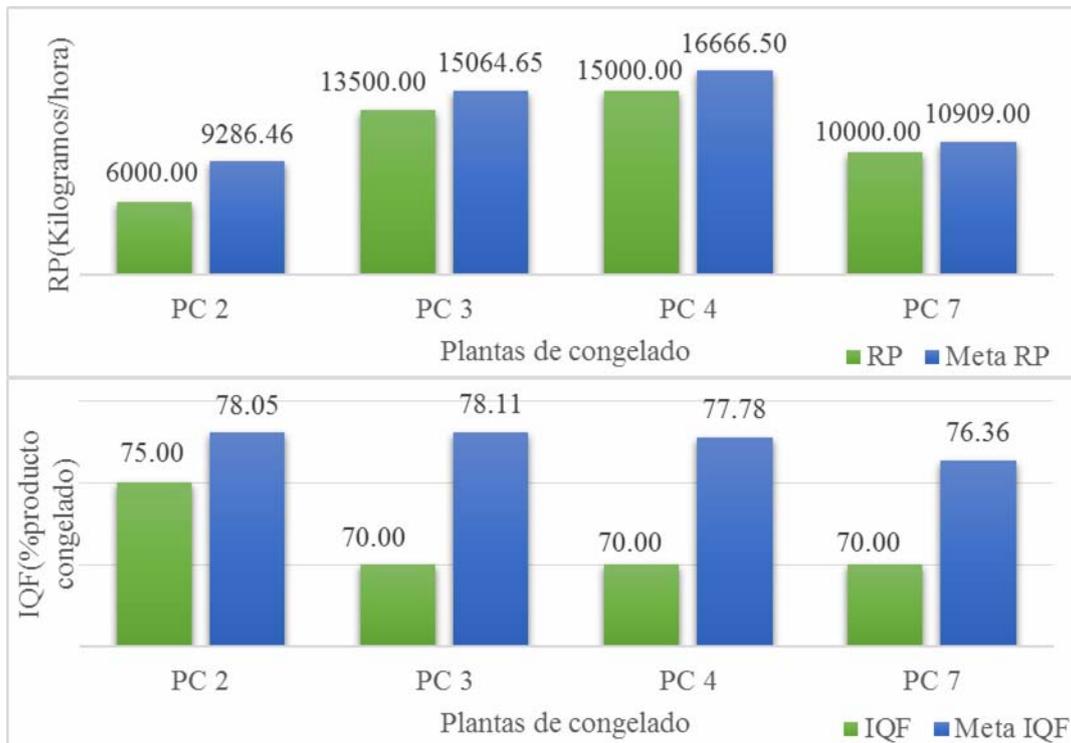


FIGURA 4. METAS PARA LAS SALIDAS USADAS POR PC INEFICIENTES (MODELO BCC_o)

En el Tabla 3 se presentan las puntuaciones de eficiencia técnica global (CCR_I), eficiencia técnica local (BCC_I) y eficiencia de escala (SE_I) para las plantas analizadas, cuando se usa orientación a las entradas.

Las plantas eficientes de escala son aquellas que operan bajo condiciones favorables a su nivel de producción. De acuerdo al análisis, estas plantas de congelado son PC1, PC5, PC6 y PC9.

Las plantas de congelado PC2, PC3, PC4, PC7 y PC8, son ineficientes de escala. La planta PC8 opera eficientemente según el modelo de rendimientos de escala variables, mostrando que tiene eficiencia técnica local. Sin embargo, no es globalmente eficiente, debido al tamaño de la escala en que opera. Las demás plantas ineficientes presentan ineficiencia técnica local y global, mostrando que operan ineficientemente y, además, se encuentran en un nivel de producción donde existen condiciones desfavorables.

TABLA 3. EFICIENCIA DE ESCALA DE MODELO CON ORIENTACIÓN A LAS ENTRADAS (I)

DMU	$E_{CCR I}$	$E_{BCC I}$	SE_I
PC1	100,00%	100,00%	100,00%
PC2	74,05%	81,78%	90,55%
PC3	36,84%	46,51%	79,21%
PC4	52,46%	60,78%	86,31%
PC5	100,00%	100,00%	100,00%
PC6	100,00%	100,00%	100,00%
PC7	78,99%	80,93%	97,60%
PC8	78,02%	100,00%	78,02%
PC9	100,00%	100,00%	100,00%

En la Tabla 4 se observan las eficiencias obtenidas para cada planta, según la orientación a las salidas. La interpretación de los resultados es similar a la presentada para la orientación a las entradas. Las plantas de congelado PC1, PC5, PC6 y PC9 operan bajo condiciones favorables en su escala de producción. Por otro lado, las plantas ineficientes de escala son PC2, PC3, PC4, PC7 y PC8, donde también PC8 es la única que tiene eficiencia técnica local (BCC O).

TABLA 4. EFICIENCIA DE ESCALA DE MODELO CON ORIENTACIÓN A LAS SALIDAS (O)

DMU	$E_{CCR O}$	$E_{BCC O}$	SE_O
PC1	100,00%	100,00%	100,00%
PC2	135,05%	104,07%	129,77%
PC3	271,42%	111,59%	243,23%
PC4	190,62%	111,11%	171,56%
PC5	100,00%	100,00%	100,00%
PC6	100,00%	100,00%	100,00%
PC7	126,59%	109,09%	116,04%
PC8	128,17%	100,00%	128,17%
PC9	100,00%	100,00%	100,00%

5. Conclusiones

En este trabajo se presentan los resultados del análisis de eficiencia aplicado a 9 plantas de congelado, localizadas en la Región del Maule, Chile, utilizando modelos DEA que asumen rendimientos de escala variables, tanto orientado a las entradas, como a las salidas. Con este método se calcula una medida de eficiencia para cada planta de congelado, siendo posible identificar aquellas plantas que son eficientes (PC1, PC5, PC6, PC8 y PC9). Además, se presentan metas y unidades de referencia a las plantas ineficientes (PC2, PC3, PC4 y PC7).

En cuanto a resultados obtenidos en el modelo con orientación a las entradas, la planta de congelado más referenciada es la PC9, lo cual indica que puede ser considerada como *benchmark* por el resto de las empresas, con la finalidad de conocer en mayor detalle sus operaciones y poder replicar sus buenas prácticas. Esta planta es una de las que consume menos energía, utiliza menos mano de obra y tiene uno de los tiempos de permanencia de la fruta más bajo que la mayoría de las plantas analizadas. Por otro lado, esta planta presenta uno de los rendimientos promedios más altos (10.500 kgrs/hora), aunque su porcentaje de IQF es bajo (70% IQF). En este análisis, las plantas ineficientes tienen un amplio margen para mejorar sus operaciones, debiendo reducir sus entradas, en promedio, en 30%. Además, la planta más ineficiente fue PC3 (47% de eficiencia), la cual tiene altos valores en las entradas, si se comparan con la muestra.

Por otro lado, cuando se aplica el modelo con orientación a las salidas, las plantas más referenciadas son PC5 y PC6, las cuales alcanzan los porcentajes de IQF más altos (77,5% IQF y 79,7% IQF, respectivamente). Además, PC5 tiene el rendimiento promedio más alto del grupo de referencia (18.000 kgrs/hora). En este análisis, las plantas de congelado más ineficientes son PC3 y PC4, las cuales tienen bajos valores en las salidas.

Respecto a la eficiencia de escala, sólo las plantas PC1, PC5, PC6 y PC9 son eficientes de escala, es decir, operan en el tamaño de escala más productivo.

Este análisis a las plantas de congelado muestra que existe una gran diferencia entre las plantas eficientes e ineficientes, por lo cual, para profundizar el estudio de las brechas tecnológicas y productivas, se debe analizar las plantas eficientes con respecto a la existencia de políticas de eficiencia energética, indicadores de control, estructura organizacional, automatización de procesos, distribución física (*layout*), capacitación del recurso humano, políticas de evaluación de desempeño e incentivos, entre otros, para transferir sus buenas prácticas a todas las empresas del sector.

Estos resultados fueron presentados y entregados a la agrupación de plantas de congelado de la Región del Maule, Chile, las cuales destacaron el aporte de este tipo de herramientas analíticas como apoyo a la toma de decisiones y para realizar la mejora continua de sus operaciones. Además, con estos resultados se pueden apoyar mutuamente e intercambiar experiencias, con el objetivo de alcanzar las metas propuestas por el estudio.

Por otro lado es necesario destacar que no todas las plantas están levantando todos los indicadores que les permitan llevar a cabo un buen control de sus operaciones productivas, lo cual limita el proceso de mejora de continua.

Referencias

- Banker, R.D., Charnes, A. e 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. e Rhodes E.** (1978), Measurement the efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research*, 2, 429–444.
- Coelli, T.J., Prasada Rao, D.S., O’Donell, C.J. e Battese, G.E.**, *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, 2nd Edition, Springer, USA, 2005.
- Cook, W.D. e Seiford, L.M.** (2009), Data envelopment analysis (DEA) – Thirty years on., *European Journal of Operational Research*, 192, 1–17.
- Cooper, W., Seiford, L.M., Tone, K.**, *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, 2nd Edition, Springer, USA, 2007.
- Cooper, W., Seiford, L.M., Zhu, J.**, *Handbook on Data Envelopment Analysis*, Kluwer Academic Publishers, 2004.
- Liu, J.S., Lu, L.Y.Y., Lu, W.-M. e Lin, B.J.Y.** (2013), A survey of DEA applications, *Omega*, 4, 893–902.
- ODEPA- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias.** Actualización del Catastro de la Agroindustria Hortofrutícola Chilena, 2012a (http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/servicios-informacion/publica/Catastro_Agroindustrial_Informe_final.pdf, consultado en mayo de 2014).
- ODEPA- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias.** Base de datos de exportaciones regionales a diciembre del 2011, 2012b (<http://www.odepa.cl/series-anuales-por-producto-de-exportaciones-importaciones/>, consultado en mayo de 2014).