

ANÁLISIS DE EFICIENCIA TÉCNICA CON VARIABLES DE ENTORNO EN UNIDADES LECHERAS*

Analysis of efficiency with environment variables in units milkmaids

Javier A. Herrera¹, José Flores² y Anaí García³

RESUMEN

Se evaluaron 30 vaquerías de una empresa pecuaria cubana desde la perspectiva de la eficiencia técnica, así como la influencia que sobre ésta ejercen algunas variables del entorno. Las variables se originaron de un análisis descriptivo y multivariante que incluyó un total de 18 variables, medidas durante el período 2006–2008. Se empleó un modelo de análisis envolvente de datos (DEA), cuyos inputs fueron: vacas totales y gastos totales del proceso productivo, y los outputs: producción de leche anual y nacimientos totales. La vaquería 1, de mayor producción, y la 23 resultaron las únicas eficientes en los 3 años de estudio. La eficiencia técnica pura reveló que las fincas ineficientes deberían incrementar su producción en 26 % (1/0,79) para llegar a ser técnicamente eficientes, con la misma cantidad de insumos o, por el contrario, reducir los insumos en 21 % (100 – 79,0). La eficiencia de escala mostró un valor de 0,87; lo que indicó que un 15% (1/0,87) de la producción se puede aumentar a partir de un ajuste de los procesos productivos de las entidades a su escala óptima. Las variables de entorno más relacionadas con la eficiencia técnica fueron las sociales, de manera que mayores niveles de capacitación (o formación académica) y de experiencia laboral contribuyen a optimizar este tipo de resultados de las vaquerías.

Palabras clave: eficiencia, producción de leche, DEA.

ABSTRACT

Thirty dairy cattle from a Cuban company were evaluated from the perspective of technical efficiency as well as the influence that some environment variables perform about this. The variables originated from a descriptive and multivariate analysis that included a total of 18 variables measured over the period 2006–2008. A model of data envelopment analysis (DEA) was used, whose inputs were: total cattle and total costs of the production process and outputs: annual milk production and total births. The dairy number 1, of higher production, and the number 23 were the only efficient in the three years of study. Pure technical efficiency revealed that inefficient farms should increase production by 26% (1/0.79) to become technically efficient, with the same amount of inputs or, conversely, reduce inputs in 21% (100 - 79.0). Scale efficiency showed a value of 0.87, which it indicated that 15% (1/0.87) of production can be increased from an adjustment of production processes of the entities at its optimum level. The environment variables related to technical efficiency were social, so that higher levels of training (academic training) and work experience help optimize such results the dairies.

Key words: efficiency, milk production, DEA

(*) Recibido: 05-12-2014

Aceptado: 16-07-2015

¹ Instituto de Ciencia Animal, Cuba. E-mail: jherrera@ica.co.cu

² Programa Ciencias del Agro y del Mar. Universidad Ezequiel Zamora, UNELLEZ, Guanare 3350, Po. Venezuela. floresjoseovidio@gmail.com

³ Escuela Nacional de Salud Pública, Cuba.

INTRODUCCIÓN

En Cuba la producción de leche en el sector estatal en los últimos treinta años mantuvo un comportamiento decreciente en comparación con los rendimientos de la década de los ochenta del siglo pasado. Esta situación se presenta por diversas causas, entre las que se destacan: la poca disponibilidad de algunos de los recursos más importantes para alcanzar buenos resultados, afirmación que es comprobable si se considera que, hasta el año 1990, el país contó con una disponibilidad de insumos para la ganadería vacuna que osciló entre 769.000 y 992.000 t año⁻¹ de alimentos balanceados y 65.500 a 69.800 t de suplementos proteicos año⁻¹. Sin embargo, los datos de 1999 mostraron una abrupta reducción de 68.200 t de piensos y 34.100 t de suplementos proteicos (Ponce 2009).

Por otra parte, en Cuba se observa una ausencia de mecanismos efectivos para la transferencia de tecnologías y la insuficiente disponibilidad de métodos para robustecer el proceso de toma de decisiones. En la actualidad, las empresas pecuarias presentan limitaciones en materia de análisis y evaluación, por ejemplo: los análisis retrospectivos que se utilizan se basan únicamente en los balances anuales, son puramente descriptivos y univariados, no se realizan análisis prospectivos, tampoco existe un personal motivado y capacitado técnicamente para aplicar métodos y procedimientos en este sentido. Lo anterior constituye un elemento que actúa en contra de la productividad y la eficiencia de los sistemas de producción lechera.

En estas condiciones es importante aplicar herramientas y procedimientos científicos para analizar, evaluar y optimizar el proceso productivo de la empresa lechera, lo que contribuirá a hacer un uso más eficiente de los recursos disponibles y, por ende, aumentar la producción.

Existen referencias sobre el empleo de la técnica Análisis Envolvente de Datos (DEA) para el análisis de sistemas lecheros, en especial en el entorno internacional. En Cuba existe un antecedente de este trabajo en la provincia de Villa Clara (Martínez 2009). En el ámbito internacional vale

mencionar lo referido por Flores y Zambrano (2011), quienes sostienen que el DEA tiene implícito un enfoque de referencia de gran utilidad para la planificación agraria, que permite establecer metas para las fincas ineficientes, con base en los niveles de insumos o de producción necesarios para alcanzar la frontera eficiente e imitar, en lo posible, las prácticas de las fincas líderes (eficientes) que, a su vez, sirve como referencia para sentar las bases de un adecuado programa de transferencia de tecnología.

Por otra parte, conocer la eficiencia con que operan las empresas lecheras por parte de sus directivos es de suma importancia para corregir, mejorar o mantener el funcionamiento de sus pequeñas unidades (Arzubi y Berbel 2002; Urdaneta *et al.* 2010). Sin embargo, con frecuencia los procedimientos instrumentados no facilitan un estudio de eficiencia económica integral. De ahí la necesidad de desarrollar procedimientos alternativos que impliquen complementación entre los análisis técnicos y económicos, de forma tal que se contribuya a ampliar la capacidad de estudiar los sistemas productivos, comenzando con el establecimiento de análisis comparativos que permitan fijar metas individuales con mayor objetividad y posibilidades de perfeccionamiento, lo que posibilitará conocer las potencialidades reales de las unidades lecheras en cuanto al aprovechamiento de los insumos y fuerza de trabajo (Barrios 2008). Por ello, el presente trabajo tuvo como objetivo analizar la eficiencia técnica con variables de entorno en unidades lecheras de una empresa pecuaria cubana.

Eficiencia técnica y variables de entorno

Eficiencia. Definiciones conceptuales

Koopmans (1951) avizoró que una combinación factible de recursos y productos es técnicamente eficiente, si es tecnológicamente imposible aumentar algún producto o reducir algún insumo, sin reducir simultáneamente, al menos, otro producto o aumentar al menos otro insumo.

Debreau (1951) se basó en la construcción de un índice de eficiencia técnica, llamado “coeficiente de utilización de los recursos”,

definido como “la unidad menos la máxima reducción equiproporcional en todos los insumos para un nivel dado de producción”; además, planteó una definición para cuantificar la eficiencia basándose en una razón de distancias. Esta razón proporciona información de cómo la situación obtenida en una economía se aleja de la óptima, y se considera aquella en la que fuera imposible aumentar la satisfacción de algún individuo sin disminuir la de otros.

Pareto, citado por Coll y Blasco (2006) proporcionó nuevos criterios para evaluar la eficiencia, y planteó que “una asignación de recurso A es preferida a otra B, si, y solo si, con la segunda, al menos algún individuo mejora y nadie empeora”. La eficiencia de Pareto está basada en criterios de utilidad, ya que si algo genera provecho, comodidad, fruto o interés sin perjudicar a otro, se entiende que provocará un proceso natural de optimización hasta alcanzar el punto óptimo.

Basado en los preceptos de Koopmans (1951) y Debreau (1951), Farrell (1957) dividió, por primera vez, el concepto de eficiencia productiva en dos componentes: técnica y asignativa. Además, desarrolló un método para el cálculo empírico con el objetivo de medir la eficiencia relativa de un conjunto de empresas.

Acerca de la eficiencia técnica y asignativa, Farrell (1957) desglosó una formulación más amplia para ambos casos. En el primer término se refiere a la “capacidad de una empresa para obtener el máximo nivel de producción dado un conjunto de insumos, o bien, a partir de un nivel dado de productos, y obtenerlos con la menor combinación de insumos”. En cuanto a la eficiencia asignativa, se refiere a la habilidad de una empresa para utilizar los factores en proporciones óptimas, dados los precios de éstos para, finalmente, obtener la máxima cantidad de productos, con un determinado nivel de producción, considerando el menor costo posible.

Además, este autor planteó eficiencia global o eficiencia económica, considerando los dos tipos de eficiencia referidos, de manera que

este tipo de eficiencia se define como el producto de la eficiencia técnica y la eficiencia asignativa (Farrell 1957).

En el caso de la eficiencia técnica, otros teóricos también ofrecieron sus postulados, como en el caso de Banker *et al.* (1996), quienes afirmaron que está compuesta por la “eficiencia técnica pura” y la “eficiencia técnica de escala”. La primera se refiere a la utilización óptima de factores productivos, mientras que la segunda mide el grado en que una finca opera en la dimensión óptima (considera el tamaño de la explotación), y está asociada a la existencia de rendimientos variables a escala.

Conceptos más recientes de eficiencia fueron plasmados por diversos autores. García (2002) estableció que la eficiencia es un concepto relativo que se obtiene por comparación con otras alternativas posibles, considerando los recursos empleados en la obtención de los resultados. A su vez, Aguirre *et al.* (2007) resumieron el término como el grado de bondad y optimización alcanzado en el uso de los recursos. Barrios (2008) consideró la eficiencia técnica como la capacidad que tiene una organización para lograr una relación óptima entre los recursos empleados en el proceso productivo y la producción obtenida, a partir de la tecnología disponible. Esta relación está dirigida a producir la máxima cantidad posible, dada una disponibilidad de recursos o, alternativamente, a utilizar la menor cantidad de recursos para alcanzar una producción determinada. Finalmente, Eagles *et al.* (2010) planteó que la eficiencia es hacer el mejor uso de los recursos disponibles o, también, la capacidad de actuar o producir con eficacia empleando para ello la menor cantidad de recursos posible, o la menor cantidad de residuos, gastos o esfuerzos innecesarios.

Análisis Envoltente de Datos

Constituye una metodología utilizada para la medición de eficiencia comparativa (relativa) de explotaciones con una misma finalidad (racionalidad) económica. En este caso se considera a las fincas como unidades tomadoras de decisiones

o DMU's (*Decisión Making Units* en la terminología habitual). Tiene como punto de partida a los insumos y productos, suministra un ordenamiento de los agentes y les otorga una puntuación de eficiencia relativa. Así, los agentes reconocidos como los más eficientes serán aquellos que obtengan el mayor nivel de producción con la menor cantidad de insumos y, por tanto, mostrarán la puntuación más alta, en un modelo orientado a los productos (Flores y Zambrano 2010). De esta manera el DEA constituye una herramienta para mejorar la competitividad y sostenibilidad de la actividad ganadera (Morantes *et al.* 2014).

El DEA constituye una metodología de puntos extremos, que se basa en la posibilidad teórica de combinar las mejores características de dos o más fincas, para lograr una finca "virtual" eficiente. Cuando se escogen dos fincas con distintos niveles de insumos y de producción, el DEA infiere que la primera puede modificar su proceso productivo, hasta alcanzar los resultados de la segunda, y viceversa. Además, realiza un proceso de optimización para cada finca puesta a prueba. Para ello, construye un conjunto de referencia (*peer* o finca virtual). Si esta explotación "virtual" obtiene rendimientos superiores con menos insumos, o si logra la misma producción con menos insumos, la finca considerada será ineficiente. Si el estudio concluye de manera satisfactoria, el modelo compara la finca con ese conjunto de referencia y otorga la puntuación, que estará acotada entre 1 y 0 (100% y 0%). Una finca eficiente obtendrá un puntaje de 1 ó 100% (Gamarra 2004, Ribas *et al.* 2006), lo cual indica que está en la frontera de producción. Valores por debajo de 1 indican que está debajo de la frontera de producción y por tanto, es ineficiente, así por ejemplo, un valor de 0,80 (80%) mostrará que la finca presenta una ineficiencia de 0,20 (1-0,80) y deberá elevar sus niveles de cada producto en 1/ETG o 1/EPP (según el caso) para convertirse en eficiente (en este caso $1/0,80 = 1,25$), de manera que si la finca produce 1.000 L de leche, deberá lograr una meta de 1.250 L para ser eficiente.

Los modelos DEA se clasifican básicamente en función de (Coll y Blasco 2006):

- Tipo de medida de eficiencia que

proporcionan: radiales y no radiales

- La orientación del modelo: a) Orientado a los insumos (busca minimizar los recursos aplicados), b) orientado a los productos (maximiza los productos) y c) insumo – producto orientado (combinación de los dos anteriores).
- La tipología de los rendimientos que caracterizan a la tecnología de producción, entendida como la forma (procedimientos técnicos) en que los factores productivos (insumos) se combinan para obtener un conjunto de productos, del tal forma que esa combinación se pueda caracterizar por existencia de rendimientos a escala: constante o variable a escala.

Según Charnes *et al.* (1981), la eficiencia se puede caracterizar con relación a dos orientaciones o direcciones básicas:

- Orientado a insumos, que busca, dado el nivel de productos, la máxima reducción proporcional en el vector de insumos, mientras permanece en la frontera de posibilidades de producción. Una finca no es eficiente si es posible disminuir cualquier insumo sin alterar sus productos.
- Orientado a productos, que pretende, dado el nivel de insumos, el máximo incremento proporcional de los productos, permaneciendo dentro de la frontera de posibilidades de producción. En este sentido una finca no se puede caracterizar como eficiente si es posible incrementar cualquier producto sin incrementar insumo alguno y sin disminuir otro producto. Con las orientaciones definidas anteriormente una unidad será considerada eficiente sí y sólo si no es posible incrementar las cantidades de insumos empleados, sin alterar las cantidades de productos obtenidos (Charnes *et al.* 1981).

Cabe destacar, de manera sintetizada, que el modelo con orientación a los insumos da una visión de cómo se están subutilizando los

insumos; mientras que el modelo orientado a los productos mide en cuánto se podría incrementar la producción con esos insumos. En consecuencia con los criterios anteriores, es válido afirmar que, para el caso de Cuba, los modelos en la mayoría de los casos deben ir orientados a los productos, pues el mercado absorbe cualquier aumento de éstos.

Otro aspecto importante radica en la tipología de los rendimientos de escala que se asuma en el modelo. Según Arellano y Cortés (2010), cuando se calculan los índices de eficiencia técnica relativa, con base en un modelo de DEA, con rendimientos constantes a escala (RCE), los conceptos de productividad y eficiencia son equivalentes. Por el contrario, cuando se trabaja con rendimientos variable a escala, el concepto de eficiencia corresponde al de eficiencia técnica pura.

Para evaluar la eficiencia de un conjunto de unidades es necesario identificar la tipología de los rendimientos a escala que caracterizan a la tecnología de producción. Los rendimientos a escala, que indican los incrementos de la producción que resultan del incremento de todos los factores de producción en el mismo porcentaje, pueden ser constantes o variables (crecientes o decrecientes).

- Rendimientos constantes a escala: cuando el incremento porcentual de los productos es igual al incremento porcentual de los insumos. Se mide con el modelo denominado DEA-CCR, debido a que fue desarrollado por Charnes *et al.* (1978).
- Rendimientos crecientes a escala (economía de escala): cuando la tecnología presenta mayor incremento porcentual de los productos en comparación con el incremento porcentual de los insumos
- Rendimientos decreciente a escala o deseconomías de escala: se está en presencia de esta tipología cuando el incremento porcentual de los productos es menor que el incremento porcentual

los insumos. Estos dos últimos tipos de rendimiento corresponden al modelo DEA-BCC, por sus autores (Banker *et al.* 1996).

La eficiencia, según el trabajo pionero de Farrell (1957), se enfoca en dos direcciones: eficiencia técnica, que refleja la habilidad de obtener el máximo de producción para un nivel de insumos, o minimizar los niveles de recursos para determinada producción a obtener; y eficiencia asignativa, que representa la habilidad de una empresa para utilizar los insumos en una proporción óptima, considerando los precios de los productos. Estos dos conceptos combinados constituyen la eficiencia económica.

Coelli (1996) sostuvo que los métodos para estimar la eficiencia se pueden dividir en dos: métodos paramétricos, que estiman una frontera estocástica por técnicas econométricas; y métodos no paramétricos, como el DEA, que se basa en la resolución de un modelo por programación lineal.

Por su parte Flores y Zambrano (2011) sostienen que el DEA tiene implícito un enfoque de referencia de gran utilidad para la planificación agraria, que establece metas para las fincas ineficientes con base en los niveles de insumos o de producción necesarios para alcanzar la frontera eficiente e imitar en lo posible, las prácticas de las fincas líderes (eficientes) que a su vez, sirve como referencia para sentar las bases de un adecuado programa de transferencia de tecnología.

Variables de entorno

Según Dios-Palomares *et al.* (2006), se vienen desarrollando métodos de estimación de eficiencia que tienen en cuenta la presencia de factores externos al proceso de producción, los llamados factores de ambiente o entorno, y que son incontrolables por parte de los responsables de las unidades de gestión. Esto supone, desde el punto de vista de la especificación del proceso generador de datos, que, además de los inputs convencionales, hay que considerar otras variables que influyen en los outputs, pero sobre las cuales no se tiene control, y por este motivo son denominadas también

variables o factores exógenos. Estos factores responden al hecho de que existen circunstancias particulares, que provocan que la frontera no sea común a todas las unidades. La realización de un análisis sin tener esto en cuenta daría lugar a que empresas que no llegan a la frontera por imperativos de su entorno, son calificadas como ineficientes.

Son aquellas variables no controlables a corto plazo, que inciden en distintos niveles de eficiencia, y por tanto, en distintas fronteras. La no consideración de estas variables en el estudio de eficiencia provoca que se le asignen a las empresas más perjudicadas por el entorno unos objetivos que nunca podrían conseguir con sus medios actuales. Esto resulta en índices de eficiencia irreales y el planteamiento de políticas de mejora inalcanzables (Dios-Palomares *et al.* 2006).

Se pueden considerar variables de entorno de dos tipos. El primero lo forman aquellas variables que toman un valor cuantitativo y además con la circunstancia particular de que para cada unidad de decisión puede tomar un valor diferente. Es el caso de variables económicas en aplicaciones a la banca (Lozano *et al.* 2002), variables indicativas de tamaño, o las que miden características propias del entorno familiar en aplicaciones de educación (López-Torres y Prior 2013). En este último caso, es frecuente que el número de variables exógenas en el modelo sea elevado y se sustituyan por sus componentes principales. En el segundo tipo, la variable es categórica y divide la muestra total en pocas submuestras correspondientes a distintos entornos de producción, que dan lugar a diferentes productividades. No hay un orden de magnitud entre las distintas categorías. Ejemplos de variables categóricas serían los que resultan de la distinción dicotómica entre empresa pública y privada o entre actividades agrarias en secano y regadío, o la diferenciación entre varios marcos legislativos o diferentes regiones.

Análisis Factorial de Correspondencias Múltiples

De acuerdo con Miranda (2011), el Análisis Factorial de Correspondencias Múltiples es un método análogo al Análisis de Componentes Principales que, se empleó para el tratamiento de

variables cualitativas del entorno de las fincas. Al igual que en Componentes Principales, se construyen nuevas variables, pero con la peculiaridad de que se construyen como combinaciones lineales de las categorías de las variables iniciales. Los coeficientes para la formación de las nuevas variables o componentes se calculan a partir de la diagonalización de matrices de perfiles o tablas de contingencia.

Entre las ventajas del método, se puede citar que hacer una representación gráfica, en un mismo plano, de los individuos y las categorías de las variables, lo cual permite estudiar el comportamiento de los individuos por su proximidad con determinada categoría dentro de una variable.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en una empresa pecuaria, situada al centro de la provincia Mayabeque, en el municipio San José de las Lajas, Cuba en un clima tropical húmedo, que presenta 1.426,66 mm de precipitación; 24,22 °C de temperatura y 77,63 % de humedad relativa.

Se incluyeron 18 variables referentes al desempeño productivo y económico, las cuales se seleccionaron de las 30 vaquerías (54 % del total) que disponían de información suficiente y confiable.

Para el análisis discriminante se formaron a priori, con un corte transversal, tres grupos de vaquerías, según el nivel de producción de leche total en el año (alto, medio y bajo). El período analizado fue de 2006 a 2008. Se empleó un cuestionario semi-estructurado para recabar la información del sistema productivo y el procesamiento de los datos fue en forma de panel, no obstante los resultados se presentan tipo corte transversal.

Las variables del modelo DEA se seleccionaron según el poder discriminante que mostraron. Como insumos se utilizaron las vacas totales y los gastos totales del proceso productivo, y como productos se consideraron la producción anual de leche expresada en litros (variable discriminante) y los nacimientos de becerros

(Herrera *et al.* 2010). Las variables que se clasificaron como de entorno fueron: nivel de capacitación de los obreros que se categorizó en función de la cantidad de actividades de capacitaciones recibidas en los últimos 5 años, por los obreros de cada vaquería. En términos unitarios se consideró una actividad de capacitación como una sesión de formación académica recibida durante 8 horas. En este sentido los niveles fueron: bien capacitados (más de 5), capacitados (5-3) y deficientemente capacitados (menos de 3). La variable años de experiencia se categorizó con el criterio de mucha experiencia (más de 15 años de trabajo en el sector), experiencia (5 – 14) y poca experiencia (menos de 5). Las razas se clasificaron de acuerdo al codificador de raza y cruzamiento (López y Rivas 1993). El tipo de suelo se categorizó según la clasificación de Hernández *et al.* (1999). Se seleccionó sin restricciones. El nivel de producción de leche se estableció según la cantidad producida por cada vaquería en el trienio, el cual se organizó en orden descendente. La variable nivel de eficiencia se construyó según los resultados de los índices de eficiencia técnica global para cada entidad.

Se consideró la utilización de dos insumos (x_1, x_2) y dos productos (y_1, y_2), por tanto el modelo orientado a producto y con rendimientos variables a escala (Modelo BCC), destinado a calcular la eficiencia de la j -ésima finca del conjunto de fincas estudiado fue (Banker *et al.* 1984):

$$\begin{aligned} & \text{Min} \sum_{i=1}^2 u_i x_{ij} \\ & \text{s. a.} \quad \sum_{k=1}^2 v_k y_{kj} = 1 \\ & \sum_{l=1}^2 u_l x_{ls} - \sum_{r=1}^2 v_r y_{rs} \geq 0, \quad s = 1, 2, \dots, N \\ & u_l, v_l \geq \varepsilon > 0; \quad l = 1, 2; \quad r = 1, 2 \end{aligned}$$

Donde:

El subíndice “s”, denota a la finca cuya eficiencia se evalúa.

y = vector de productos.

x = vector de insumos.

u = vector de ponderaciones que representan el “precio” asignado a cada uno de los insumos de la finca a evaluar.

v = vector de ponderaciones que representan el “precio” asignado a cada uno de los productos de la finca a evaluar.

ε = es un infinitesimal no-arquimedeano constante, por lo general del orden 10^{-5} ó 10^{-6} . Tales restricciones garantizan que el denominador del índice de eficiencia nunca sea nulo y, también, que cualquier variable (insumo y producto) sea siempre tenida en cuenta en la evaluación de la eficiencia de la finca.

Cuando el valor de la función objetivo es igual a 1 y todos los multiplicadores son estrictamente positivos, se puede afirmar que la j -ésima finca es eficiente y, en caso contrario, se considera ineficiente. De manera que un valor de eficiencia de 1 (ó 100%) indica que la finca está ubicada en la frontera de producción y, por ello, presenta el mejor desempeño (el óptimo) del grupo comparado. Por el contrario, una finca con un valor por debajo de 1, por ejemplo de 0,8 indicaría que su eficiencia es de 80% y su ineficiencia de 20%. Por otro lado, es muy sabido que todo programa lineal original (primal) tiene otro programa lineal asociado, denominado dual, que puede ser utilizado para estimar la solución del problema primal, y que se conoce como la versión envolvente. En el presente caso es:

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{\phi, \lambda, s_r^+, s_r^-} g_j = \phi_j + (\varepsilon \sum_{r=1}^2 s_r^+ + \varepsilon \sum_{l=1}^2 s_l^-) \\ & \text{s. a.} \quad \sum_{i=1}^N \lambda_i x_{li} + s_l^- = x_{lj}, \quad \sum_{i=1}^N \lambda_i y_{ri} - s_r^+ = \\ & \quad \phi_k y_{rj}, \quad \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1, \quad \lambda, s_r^+, s_r^- > 0, \quad l=1,2; \quad r=1,2 \end{aligned}$$

La resolución de este programa para la j -ésima finca arrojará un índice de eficiencia (ϕ), las fincas que son referencia de la misma frontera (i tales que $\lambda_i \neq 0$) y si se generan holguras (s_r^+, s_r^-) en algunas de las restricciones. Según esta fórmula, la j -ésima finca será eficiente cuando $\phi=1$ y todas sus holguras sean iguales a cero.

Se estimaron la eficiencia técnica global (ETG), la eficiencia técnica pura (ETP) y eficiencia de escala (EE). La ETP fue estimada según el programa matemático indicado. La ETG corresponde al modelo de rendimientos a escala y la

EE es una relación entre ambas medidas, de manera que la ETG se obtiene por la fórmula siguiente:

$$ETG = ETP \times EE$$

En el análisis de correspondencias múltiples (ACM) los datos fueron ordenados en una tabla **Z**, denominada tabla disyuntiva completa, la cual se describe a continuación (Zárraga y Goitisoló 2008):

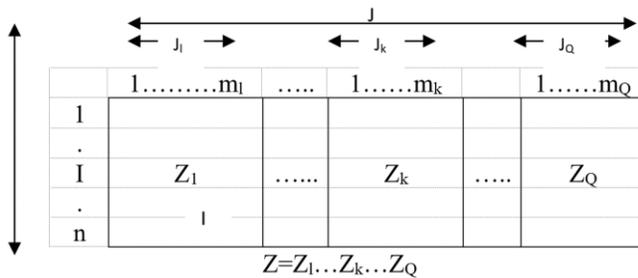
$I=1, \dots, i, \dots, n$ = conjunto de individuos (en filas)

$J_1, \dots, J_k, \dots, J_Q$ = conjunto de variables o caracteres cualitativos (en columnas)

$1, \dots, m_k$ = conjunto de modalidades excluyentes para cada carácter cualitativo.

$$J = \sum_{k=1}^Q m_k = \text{número total de modalidades}$$

La tabla disyuntiva completa **Z** de dimensiones $I \times J$ tiene el siguiente aspecto:



$$Z_{ij} = k_{ij} = 0 \text{ ó } 1$$

$K_{i.} = \sum_j K_{ij} = Q$ = número de modalidades, cada subtabla tiene un único 1 en cada fila.

$K_{.j} = \sum_i K_{ij}$ = número de individuos que poseen modalidad j
 $f_{ij}/f_{i.} = k_{ij}/k_{j.} = 1/Q$ = inverso del número de modalidades (0 si el individuo no elige j)

Se utilizó el software Win4deap versión 2.1 (Coelli 1996) para la estimación de los diferentes índices de eficiencias. Posteriormente, se empleó el software Infostat (2001), versión 1.0, para determinar la correspondencia entre las variables de entorno, el nivel de producción de leche anual y de eficiencia de las vaquerías, en función de la proximidad de las modalidades de las variables en el gráfico del ACM.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los índices de eficiencia técnica global, eficiencia técnica pura y eficiencia de escala (Tabla 1), permitieron el examen individual de todas las vaquerías. La vaquería N°1, de mayor producción y la N°23 (solo en EE) resultaron las únicas eficientes en los tres años de estudio. La N°1 que presentó mejor desempeño productivo en correspondencia con los niveles de insumos utilizados, mayor producción de leche, 89 % de natalidad y sus gastos totales estuvieron por debajo de la media, presentó valor de 1 en todos los índices de eficiencia, lo que indicó que tuvo un tamaño o escala óptima; además, no presentó ineficiencias técnicas, por lo cual no requiere incrementar su producción. Cabe señalar que aunque la vaquería 23 se ubicó en el grupo de menor productividad mostró mejor valor de ETP que el resto. Esto se debió, entre otros factores, a que

Tabla 1. Índices de eficiencia técnica global, eficiencia técnica pura y eficiencia de escala para 30 vaquerías en el trienio 2006-2008.

Vaquerías Grupo I	Índice de eficiencia			Vaquerías Grupo II	Índice de eficiencia			Vaquerías Grupo III	Índice de eficiencia		
	ETG	ETP	EE		ETG	ETP	EE		ETG	ETP	EE
1	1,00	1,00	1,00	11	0,76	0,80	0,96	21	0,57	0,61	0,94
2	0,80	0,87	0,92	12	0,71	0,75	0,94	22	0,72	0,93	0,77
3	0,82	0,93	0,89	13	0,83	0,87	0,96	23	0,75	1,00	0,75
4	0,73	0,85	0,86	14	0,82	0,84	0,98	24	0,51	0,66	0,77
5	0,72	0,87	0,83	15	0,81	0,83	0,98	25	0,48	0,57	0,84
6	0,82	0,90	0,91	16	0,73	0,77	0,95	26	0,62	0,81	0,76
7	0,75	0,85	0,88	17	0,74	0,82	0,90	27	0,54	0,66	0,82
8	0,65	0,82	0,79	18	0,60	0,67	0,90	28	0,55	0,82	0,67
9	0,71	0,76	0,93	19	0,57	0,70	0,81	29	0,51	0,69	0,74
10	0,87	0,88	0,99	20	0,72	0,76	0,95	30	0,36	0,43	0,83
Promedio	0,78	0,87	0,90	Promedio	0,72	0,78	0,93	Promedio	0,56	0,71	0,78

ETG= eficiencia técnica global ETP= eficiencia técnica pura EE= eficiencia de escala

con un número menor de vacas (46) obtuvo una producción superior con respecto a otras con similar o superior cantidad de vacas. Asimismo, los gastos totales fueron 10% menores que el promedio de la muestra, aunque presentó ineficiencias de escala de operación ($EE = 0,75$), pero no técnicas ($ETP = 1$), por ello, es más importante en ese caso, mejorar los rendimientos en cuanto a la escala, que mejorar la tecnología (Flores y Zambrano 2010).

En cuanto a las vaquerías de peores índices como la número 30, cuyo índice de ETP fue el más bajo y, por tanto, el más alejado de 0,81, valor considerado por Arellano y Cortés (2010) como potencialmente factible para alcanzar en este tipo de eficiencia; razón por la cual, la dirección de la unidad lechera deberá elevar sus niveles de eficiencia. Las diferencias que se observaron en todos los índices en las vaquerías analizadas indicaron las condiciones en términos de eficiencia relativa de la empresa.

El resumen estadístico descriptivo de los tipos de eficiencia (Tabla 2) reflejó que la ETG media fue 0,69; lo que implica que técnicamente, las vaquerías pudieron producir la misma cantidad de leche y nacimientos con el 69 % de los gastos totales y vacas totales, lo cual representaría un margen de ahorro de 31% de los insumos (Navarro y Torres 2011), en condiciones agroecológicas normales. En tanto, la ETP reveló que las fincas ineficientes deberían incrementar su producción en 26,6 % (1/0,79) para llegar a ser técnicamente eficientes, con la misma cantidad de insumos o, por el contrario, reducir los insumos en 21,0 % (100 – 79,0) sin cambios en los niveles productivos reportados. La eficiencia de escala mostró valores superiores al resto con 0,87; lo que indicó que un 15,0% (1/0,87) de la producción se puede aumentar a partir de un ajuste de los procesos productivos de las entidades a su escala óptima. La desviación típica no fue alta en

Tabla 2. Estadística descriptiva de los tres tipos de eficiencia.

Estadísticos	Tipo de eficiencia		
	ETG	ETP	EE
Máximo	1,00	1,00	1,00
Mínimo	0,35	0,43	0,67
Media	0,69	0,79	0,87
Desviación típica	0,13	0,12	0,08

ETG= eficiencia técnica global ETP= eficiencia técnica pura
EE= eficiencia de escala

ninguno de los índices, lo que evidencia un sistema productivo relativamente homogéneo. Estos valores fueron similares a los reportados en otros países (Silva *et al.* 2004, Angón *et al.* 2014).

En la Tabla 3 se muestran los estadígrafos del modelo de análisis de correspondencias múltiples, según los valores del Alfa de Cronbach, los autovalores y la inercia, es suficiente con las dos primeras dimensiones, ya que explican el 82,71% de la varianza total.

Tabla 3. Resumen del modelo de análisis de correspondencias múltiples.

Dimensión	Alfa de Cronbach	Varianza explicada		
		Autovalores	Inercia	Varianza
1	0,82	3,16	0,53	52,76
2	0,53	1,80	0,30	29,95

Los resultados del análisis de correspondencias múltiples (Figura 1) indicaron, en primer lugar, que existió correspondencia entre las variables nivel de producción de leche y nivel de eficiencia, por tanto, en un alto porcentaje de los casos, las vaquerías de mayor nivel de producción presentaron mayor nivel de eficiencia; lo cual demuestra la existencia de economías de escala en el sistema productivo estudiado. Las vaquerías de alto y medio nivel de eficiencia presentaron mayor correspondencia con el mejor nivel de capacitación de sus obreros y con su mayor experiencia laboral, en comparación con las vaquerías de bajo nivel de eficiencia; contrariamente, la correspondencia entre las vaquerías de baja eficiencia y los productores regularmente capacitados y con poca experiencia fue mayor, resultado que concuerda con los reportados por otros autores (Castro 2009; Machado *et al.* 2009; Aviles *et al.* 2010), quienes informaron que las variables sociales juegan un papel determinante en los rendimientos productivos de las vaquerías.

El tipo de suelo no presentó fuerte correspondencia con el nivel de eficiencia y producción, lo que concuerda con lo encontrado por Ruíz (2001). En cuanto al genotipo, la ubicación en el plano de las dos categorías utilizadas, tampoco evidenció correspondencia con la eficiencia.

para convertirse en eficientes. La eficiencia de escala indicó que 15% (1/0,87) de la producción se puede aumentar a partir de un ajuste de los procesos productivos de las entidades a su escala óptima. Así pues, el DEA constituye una herramienta importante que permite cuantificar, de manera individual y general, las ineficiencias con el propósito de formular planes de mejora desde la perspectiva del Benchmarking.

El análisis de correspondencia múltiple indicó que existen economías de escala, por lo cual el tamaño de la explotación es una variable relevante en los procesos de planificación de las vaquerías.

Las variables de entorno más relacionadas con la eficiencia técnica fueron las sociales, mayores niveles de capacitación (o formación académica) y de experiencia laboral contribuyen a optimizar este tipo de resultados de las vaquerías.

REFERENCIAS

- Aguirre, M., Herrera, R. y Bravo, G. 2007. Análisis comparativo de eficiencia técnica entre la banca chilena y alemana. *Revista de Matemática Teoría y Aplicaciones* 14(2): 203-219.
- Angón, E., Pacheco, H., Perea, J., Barba, C. y García, A. 2014. Evaluación de la eficiencia técnica en vacuno de leche, caso de la comarca de Los Pedroches (Córdoba): resultados preliminares. *In Memoria Simposio VI Congresos de Eficiencia y Productividad*. Universidad de Córdoba, Córdoba. pp. 1-9.
- Arellano, C. y Cortés, F. 2010. Análisis de la eficiencia técnica relativa de la agroindustria azucarera: El caso de México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 14(26): 202-213.
- Arzubi, A. y Berbel, J. 2002. Determinación de índices de eficiencia mediante DEA en explotaciones lecheras de Buenos Aires. *Revista Investigación Agraria. Producción y Sanidad Animal* 17(12): 104-123.
- Aviles, J., Escobar, P. y Vaon, G. 2010. Caracterización productiva de explotaciones lecheras empleando metodologías de análisis multivariado. *Revista Científica, FCU-LUZ* 20(1): 74 – 80.
- Banker, R., Charnes, A. and Cooper, W. 1984. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in DEA. *Management Science* 30(9): 1.078-1.092.
- Banker, R., Chang, H. and Cooper, W. 1996. Equivalence and implementation of alternative methods for determining returns to scale in Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research* 89: 473–481.
- Barrios, G. 2008. Análisis de la eficiencia Técnica en UBPC cañeras en la provincia Villa Clara. Tesis Doctoral en Ciencias Económicas. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Cuba. 123 p.
- Castro, M. 2009. Caracterización multifactorial de los sistemas de producción ovina en la provincia de Cienfuegos. Tesis MSc. en Producción Animal, Universidad de Cienfuegos. 66 p.
- Charnes, A., Cooper, W. and Rhodes, E. 1978. Measurement the efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research* 2: 429-444.
- Charnes, A., Cooper, W. and Rhodes, E. 1981. Evaluating program and managerial efficiency: an application of Data Envelopment Analysis to program follow through. *Management Sciences* 27: 668-697.
- Coelli, T. 1996. A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program, CEPA Working Paper No 8/96. Department of Econometrics, University of New England, England. 50 p.
- Coll, V. y Blasco, O. 2006. Evaluación de la eficiencia mediante el Análisis Envoltante de Datos. Introducción a los modelos básicos. Monografía. Universidad de Valencia. España, [Documento en línea]. En: <http://www.eumed.net/libros->

- gratis/2006c/197/index.htm [Consulta: mayo de 2014].
- Debreau, G. 1951. The coeficiente of resource utilization. *Journal Econometric* 19: 14–22.
- Dios-Palomares, R., Martínez, J. M. y Martínez-Carrasco, F. 2006. El análisis de eficiencia con variables de entorno. Un método de programas con tres etapas. *Estudios de Economía Aplicada* 4(19):477 – 497.
- Eagles, P., Havitz, M., McCutcheon, B., Buteau-Duitschaefer, W. and Glover, T. 2010. The perceived implications of an outsourcing model on governance within British Columbia Provincial Parks in Canada: a quantitative study. *Environ Manage* 45(6):1244-1256.
- Farrell, M. 1957. The measurement of productive efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society (Series A)* 120, part III: 253-290.
- Flores, J. y Zambrano, C. 2010. La eficiencia técnica de explotaciones agrarias mixtas con producción ovina en el municipio Guanarito, estado Portuguesa, Venezuela (Resumen). *In III Congreso de Producción Animal*. Instituto de Ciencia Animal, La Habana. p. 4.028.
- Flores, J. y Zambrano, C. 2011. Eficiencia técnica de explotaciones agrarias mixtas con producción ovina en el municipio Guanarito, estado Portuguesa, Venezuela. *Revista Unell de Ciencia y Tecnología* 29: 23-33.
- Gamarra, J. 2004. Eficiencia Técnica Relativa de la ganadería doble propósito en la Costa Caribe. Documentos de trabajo sobre economía regional. Banco de la República. Colombia. pp. 1-58.
- García, C. 2002: Análisis de la eficiencia técnica y asignativa a través de las fronteras estocásticas de costes: una aplicación a los hospitales de INSALUD. Tesis Doctoral. Departamento de Economía. Facultad de Ciencias económicas y Empresariales, Universidad de Valladolid. España. 237 p.
- Hernández, A., Pérez, J. y Bosch, D. 1999. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos de Cuba, Ministerio de la Agricultura. La Habana, Cuba. 46 p.
- Herrera, J., Torres, V., Valera, M. y Carmelita, A. 2010. Aplicación de una metodología para la caracterización y tipificación de sistemas ganaderos (resumen). *In III Congreso de Producción Animal Tropical*, Palacio de las convenciones. La Habana, Cuba. p. 334.
- Infostat 2001. Software estadístico. En <http://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=46>. [Consulta: noviembre de 2014].
- Koopmans, T. 1951. Activity Analysis of Production and Allocation, Cowles Commission for Research in Economics, Monograph N° 13, John Wiley and Sons, Inc. New York. 404 p.
- López, D. y Rivas M. 1993. Formación de Nuevas Razas Lecheras. Resultados en Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 27(1): 1 - 10.
- López-Torres, L. and Prior, D. 2013. Do parents perceive the technical quality of public schools? An activity analysis approach. *Regional and Sectoral Economic Studies* 13(3): 39-60.
- Lozano, A., Pastor, J. and Pastor, J. 2002. An efficiency comparison of european banking systems operating under different environmental conditions. *Journal of Productivity Analysis* 18: 59-77.
- Machado, H., Suset, A., Martín, G. y Funes-Monzote, F. 2009. Del enfoque reduccionista al enfoque de sistema en la agricultura cubana: un necesario cambio de visión. *Revista Pastos y Forrajes* 32 (3): 1-12.
- Martínez, B. 2009. Evaluación de la eficiencia técnica de la producción de leche en la Empresa Agropecuaria Benito Juárez, de Placetás. Tesis de licenciatura en contabilidad

- y finanzas. Universidad Central de Las Villas. Marta Abreu. Cuba. 57 p.
- Miranda, I. 2011. Estadística aplicada a la sanidad vegetal. Editorial EDCENSA. Instituto de Sanidad Vegetal. San José de las Lajas. Cuba. 110 p.
- Morantes, M., Dios-Palomares, R., Peña, M., Rivas, J., Angon, E., Perea, J. y García-Martínez A. 2014. Eficiencia técnica de los sistemas de producción con ovinos de leche en Castilla-La Mancha, España. Una estimación de metafronteras. *In* Memoria Simposio VI Congresos de Eficiencia y Productividad. Efiuco, Córdoba. pp. 1-29.
- Navarro, J. y Torres, Z. 2007. Eficiencia técnica y asignativa del sector eléctrico en México en su fase de distribución: un análisis a través de los modelos de frontera DEA. *Mundo Siglo XXI* N° 7:35-43.
- Ponce, P. 2009. Un enfoque crítico de la lechería internacional y cubana. *Rev. Salud Animal* 31 (2): 77- 85.
- Ribas, A., Flores, G. and López, C. 2006. Análisis no paramétrico de la eficiencia técnica de las explotaciones lecheras en Galicia. El papel de la concentración parcelaria. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros* 209: 111-133.
- Ruiz, R. 2001. Utilización de los pastos y forrajes para la producción de leche en Cuba, Estrategia de alimentación del ganado bovino en el trópico. Grupo Nacional de Vaquerías potenciadas. Instituto de Ciencia Animal. Cuba. 176 p.
- Silva, E., Arzubi, A. and Berbel, J. 2004. An application of data envelopment analysis (DEA) in Azores dairy farms. *New Medit* N° 3: 39-43.
- Urdaneta, F., Dios-Palomares, R., Casanova, A. y Cañas, J. 2010. Estudio no paramétrico de la eficiencia técnica en ganadería de doble propósito tropical con variable de entorno. *In* Memoria Simposio XIII Encuentro de Economía Aplicada, Universidad Pablo Olavide. Sevilla. pp. 1-20.
- Zárraga, A. y Goitisolo, B. 2008. Análisis de encuestas con preguntas condicionadas, *Revista Metodología de Encuestas* 10: 39-58.