

Eficiencia técnica en granjas lecheras de la Sierra Andina mediante modelación con redes neuronales

Technical Efficiency on Dairy Farms in Sierra Andina Using Neural Network Modelling

Carlos S. Torres-Inga^{1*}; Gonzalo López-Crespo¹; Raúl Guevara-Viera¹; Jhonny Narváez-Terán¹; Víctor Guillermo Serpa-García¹; Clelia Kathrine Guzmán-Espinoza¹; Guillermo Guevara-Viera¹; Ángel J. Aguirre de Juana²

1. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca, Ecuador

2. Proyecto Prometeo, Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, Ecuador

santiago.torres84@ucuenca.edu.ec

RESUMEN

Antecedentes: El objetivo del trabajo fue estimar la eficiencia en la producción lechera de 1 168 casos en la Sierra Sur Andina Ecuatoriana, mediante la aplicación de un modelo de redes neuronales con perceptrón multicapa.

Métodos: Los casos fueron tomados de fuentes secundarias provistas por el instituto oficial de estadísticas nacionales del Ecuador para el año 2016. Las variables seleccionadas para el modelo fueron: producción total de leche el día de ayer (P) como variable dependiente y número total de ganado vacuno (GV), el total de trabajadores en el terreno (E) además de la superficie total a cargo de la persona productora (S) como variables independientes. Los criterios de selección de las variables fueron: la existencia de datos por cada caso y el impacto de ellas en la variable dependiente.

Resultados: La eficiencia promedio fue del 8,11 %, donde la cantidad de casos detectados con eficiencia > 0,70 fueron en total 11 (0,9 % de la muestra). Posteriormente, los casos estudiados se clasificaron en tres grupos en función de la eficiencia calculada: Grupo 1 (eficiencia $\leq 0,4$), Grupo 2 (eficiencia > 0,4 hasta $\leq 0,7$) y Grupo 3 (eficiencia > 0,7).

Conclusiones: Al compararlos se encontraron diferencias estadísticas ($P < 0,01$) para las variables producción total de leche al año de la granja, y además de otras variables como: total de trabajadores en el terreno, área de la granja, total de vacas, total de unidades de ganado vacuno, partos, vacas preñadas y vacas servidas.

Palabras clave: *bovinos lecheros, fronteras de producción, perceptrón multicapas, modelación*

ABSTRACT

Aim: The aim of this work was to estimate the efficiency of milk production in 1 168 cases in Ecuadoran Sierra Sur Andina, with the implementation of neural networks with multilayer perceptrons.

Materials and Methods: These cases were collected from secondary samples provided by the Official Institute of National Statistics of Ecuador, in 2016. The variables chosen for the model were total milk production on the previous day (P), as dependent variable; and total cattle heads (CH), total laborers in the field (E), and total surface attended by laborer (S), as independent variables. The selection criteria were the existence of data from individual cases, and their impact on the dependent variable.

Results: The average efficiency was 8.11 %, from which the total cases detected efficiently (> 0.70) accounted for 11 (0.9 % of the sample). Later, the cases studied were classified into three groups, depending on the efficiency calculated: Group 1 (≤ 0.4 efficiency); Group 2 (> 0.4 - ≤ 0.7 efficiency); and Group 3 (> 0.7 efficiency).

Conclusion: A comparison produced several statistical differences ($P < 0.01$) for variables total milk production/year on the farm, total field laborers, farm size, total cows, total cattle heads, calvings, pregnant cows, and served cows.

Key words: *dairy bovines, production frontiers, multilayer perceptron, modelling*

INTRODUCCIÓN

La producción lechera de la sierra ecuatoriana representa alrededor del 77 % de la producción total del país (5,3 millones de litros/día) (ESPAC, 2016), destacándose la provincia del Azuay con la segunda producción más grande del Ecuador. Es necesario analizar estos datos primarios para la optimización de los recursos para conocer los niveles de ineficiencia existentes en la producción: en el año 2016, del 100 % de la cantidad de vacas en producción lechera para la sierra del país, el 14 % está en la provincial de Pichincha, y la producción de leche de la misma provincia es del 21 % a nivel de toda la sierra. En la provincia del Azuay la cantidad de vacas representa el 17 % de la masa nacional y su producción es de apenas el 14 %; es decir, con más cantidad porcentual de vacas en ordeño en el Azuay, menos producción porcentual con respecto a la provincia de Pichincha.

El incremento de la producción lechera es importante para el país, dado que no se cumplen las recomendaciones de la FAO sobre el consumo en litros/habitante/año y a esto se suma la existencia de nuevos mercados la producción local (AGSO, 2016).

Para el estudio de la eficiencia técnica se han establecido algunos modelos matemáticos como el uso de regresiones lineales determinísticas (Timmer 1971; Jiang y Sharp, 2014) o modelos no paramétricos como el Análisis Envolvente de Datos (Charnes, Cooper y Rhodes 1978; Cobo y Borroto, 2013; Flores, Herrera-Toscano y Flores, 2014; Gómez, 2016). El uso de Redes Neuronales con condiciones específicas (Fernández, Hervás, García y Torres, 2011; Gallo, Contoa, Piermichele y Antonazzo, 2013), ha sido desarrollado como una metodología adecuada también para el análisis de datos.

El objetivo del presente trabajo fue estimar la eficiencia técnica de las unidades de producción lechera en la provincia del Azuay mediante la aplicación de un modelo de redes neuronales con perceptrón multicapa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización de los casos y selección

Los casos estudiados se encuentran en la provincia del Azuay en los Andes centrales del Ecuador en las coordenadas $3^{\circ}20'24''$ S y $78^{\circ}06'00''$ O, y con altitudes entre 2 100 y 3 500 m s.n.m., localización que presenta una temperatura máxima y mínima promedio de $20,3^{\circ}$ y $9,2^{\circ}$, respectivamente, y precipitación media anual de 878 mm .

Los casos fueron tomados de las bases de datos de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) (ESPAC, 2016).

Una restricción sobre la información para evadir datos atípicos fue trabajar con casos que han presentado producciones de leche menores a 300 L diarios. Finalmente, la cantidad total de casos analizados, luego de cruzar las bases de datos de ESPAC (2016), fue de 1 168 casos.

Modelo matemático y selección de variables

Se empleó la técnica de redes neuronales como análisis no paramétrico, que ha sido ampliamente detallado en la literatura desde mediados de los años '80 (Santin, Delgado y Valiño, 2004).

En este caso se usaron las variables *producción total de leche el día de ayer* (P) como variable de salida; mientras las variables de entrada correspondieron a: *número total de ganado vacuno* (GV), el *total de trabajadores en el terreno* (E) y *superficie total a cargo de la persona productora* (S).

Como la variable de salida requiere una transformación por la utilización de la función de activación, cuando se aplica la técnica de redes se ha utilizado el método de normalización de los datos. Adicionalmente, se particionó la base de datos en 70 % para entrenamiento de la red; mientras el 30 % se utilizó para pruebas, considerando finalmente las eficiencias obtenidas de 399 granjas para el gráfico utilizado y las comparaciones.

Las estimaciones de la producción total de leche el día de ayer (P) para cada granja se utilizaron para el cálculo de la eficiencia (E, en base al modelo de redes neuronales), de acuerdo a la metodología descrita por Athanassopoulos y Curram (1996), expresada por:

$$Eficiencia = \frac{Y_i}{\hat{Y}_i + Max_i \varepsilon_i}$$

Donde eficiencia (E), es la razón entre la producción observada y lo estimado más el residuo. Y_i corresponde a la producción observada en la muestra para cada unidad. \hat{Y}_i corresponde a la producción estimada por el modelo de redes neuronales para cada unidad; mientras que $Max_i \varepsilon_i$ corresponde a encontrar el máximo residuo positivo de los residuales obtenidos por la diferencia entre $Y_i - \hat{Y}_i$.

Posteriormente, el valor de eficiencia encontrado para cada unidad se utilizó para clasificarlas según el criterio siguiente: grupo 1 = eficiencia de 0 a 0,4; grupo 2 = más de 0,4 hasta 0,7; grupo 3 = más de 0,7.

Con estos tres grupos se utilizaron análisis de varianza (ANOVA) y las pruebas de significancia de Tukey ($P < 0,01$) para la determinación de diferencias significativas de las variables producción total de leche al año de la granja, y además de otras variables como: total de trabajadores en el terreno, área de la granja, total de vacas, total de unidades de ganado vacuno, partos, vacas preñadas y vacas servidas. En el tratamiento estadístico se usó el software SPSS (2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo determinó un promedio de eficiencia de $0,26 \pm 0,22$. Hay alta variabilidad, lo cual es común en estudios de sistemas. La mayor cantidad de granjas de la muestra se encontraron por debajo de la media de eficiencia (más del 55 %).

Como se aprecia en la Fig. 1, el modelo determinó que 11 granjas presentaran eficiencias $> 0,7$; es un conjunto muy escaso que necesitará ser estudiado en profundidad para hacer las recomendaciones necesarias que mejoren los resultados en el sector. La cantidad de granjas de la muestra con eficiencia por debajo de 0,7 es cercana al 75 %.

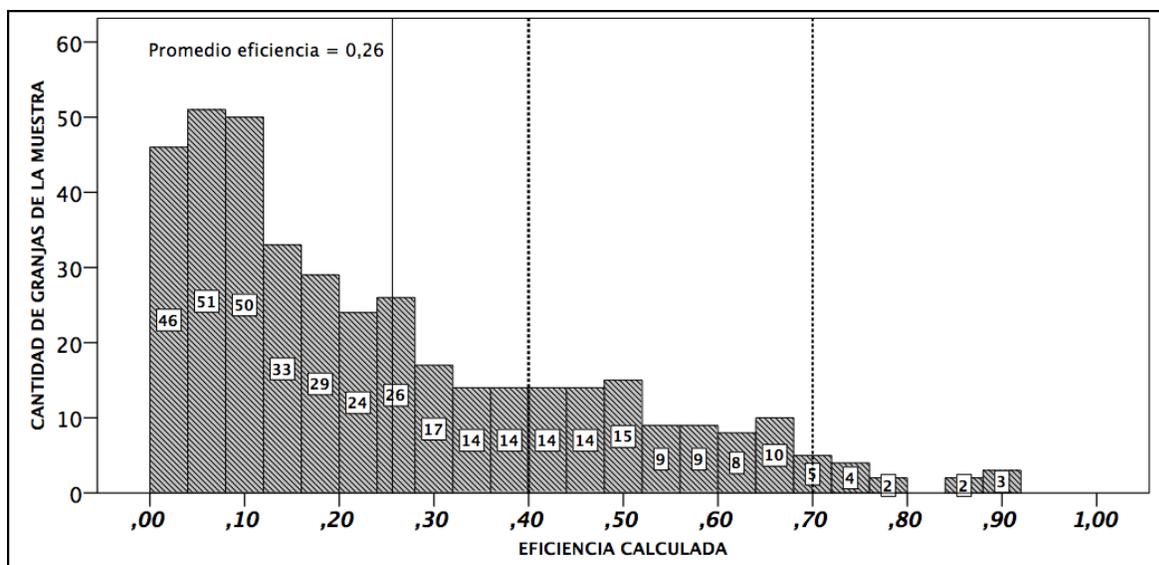


Fig. 1. Número de granjas en función de la eficiencia calculada y grupos por rangos de eficiencia: Grupo 1 (eficiencia $\leq 0,4$); Grupo 2 (eficiencia $> 0,4$ hasta $\leq 0,7$) y Grupo 3 (eficiencia $> 0,7$).

Los grupos encontrados se compararon en la Tabla 1. Los resultados mostraron diferencias significativas ($P < 0,01$) en todas las variables que fueron incluidas en el modelo y adicionalmente otras que fueron parte de la encuesta, pero que no participaron de la estimación de la red neuronal. De manera general se puede encontrar que el grupo 3 se caracterizó por tener mayor producción total de leche al año ($P < 0,01$); mayor utilización de insumos como empleados permanentes ($P < 0,01$); el área difirió estadísticamente ($P > 0,01$) entre las unidades; y el total de animales y de vacas en producción fue superior a los otros grupos ($P < 0,01$). También se observó que el grupo 3 tiene mayor ganado propio, mayor ganado para producción de leche y reproducción, así como mayor cantidad de animales vacunados y de raza Holstein. Finalmente, este grupo estadísticamente tiene mayor cantidad de vacas ordeñadas ($P < 0,01$), y el número de vacas en ordeño en las unidades eficientes es porcentualmente mayor ($P < 0,01$) que en las unidades ineficientes.

Tabla 1. Comparación de los grupos con diferentes rangos de eficiencias

P ¹ (kg)	Rangos de eficiencia*					
	$\leq 0,4$		$> 0,4$ hasta $\leq 0,7$		$> 0,7$	
	Media	EE	Media	EE	Media	EE
	18 558,8a	1 084,10	85 844,9b	3 605,53	161 136,8c	18 625,47
Empleados permanentes ² (EMP; unidades)	0a	0	1b	0	2c	1
Área de la granja (ha)	11,5a	0,49	20,9b	1,43	25,5b	2,2
Total vacas (TV;UGM ³)	9a	0	26b	1	34c	4
Total animales (unidades)	20a	1	45b	2	60c	7
Partos (unidades)	6,2a	0,27	12,3b	1,16	27,9c	7,37
Vacas preñadas (unidades)	5,9a	0,30	13,5b	1,52	30,1c	7,10
Vacas servidas (unidades)	6,3a	0,33	15,8b	1,83	41,6c	10,32

¹P: Producción de leche total por año.

²Personas empleadas 8 horas al día.

³UGM: Unidades de ganado mayor.

* Letras diferentes (a, b, c) indican diferencias significativas ($P < 0,01$) con la prueba de Tukey.

La ineficiencia de las unidades bovinas de producción lechera encontrada mediante el método de redes neuronales en las condiciones de la región andina ecuatoriana, coincide con las conclusiones obtenidas cuando se utiliza el método de análisis envolvente de datos (DEA) por Torres, Guevara, Guevara y Aguirre (2016), que para la tasa VRS, encontraron 39,2 % como promedio de eficiencia técnica. Este resultado es muy inferior a los resultados reportados por Murova, Chidmi (2013); Theodoridis *et al.* (2012) y Parlakay, Semerci y Çelik (2015) en explotaciones con mayor disciplina tecnológica.

Los rangos empleados para analizar las unidades muestran un conjunto intermedio de numerosas granjas que pudiera mejorar su producción y superar la barrera de 0,7 de eficiencia, que fue el mismo porcentaje encontrado por Torres-Inga, Guevara, Guevara y Aguirre (2016) con diferentes muestras de granjas, pero utilizando el DEA en ambos trabajos. En dicho trabajo las unidades eficientes, cercanas a 1,0, representaron el 0,59 %. Tal situación obliga divulgar, convencer, capacitar y estimular un cambio en la tecnología de producción lechera en la zona. En la provincia de Pichincha y en Cotopaxi, el nivel productivo es casi el doble que en la zona estudiada en este trabajo; aunque no se dispone de estudios similares que esclarezcan los niveles de eficiencia (ESPAC, 2016).

La tasa de eficiencia media de importantes sistemas lecheros en el mundo, determinada por técnicas multivariadas como el DEA y los análisis con modelo jerárquicos y con integración de variables y/o con el uso de funciones estocásticas o determinísticas es muchas veces inferior al 50 % (Bravo-Ureta *et al.*, 2007; Jiang y Sharp, 2014; Torres-Inga, Guevara, Guevara y Aguirre, 2016).

El impacto negativo de unidades ineficientes es reducido por las políticas de subsidios; por ejemplo, el de EE.UU. y en sistemas lecheros del cono sur de América Latina (Bravo-Ureta *et al.*, 2007; Areal, Tiffin y Balcombe, 2012; Comerón, 2012). También, los esquemas de cuotas de la Unión Europea que regulan la producción de lácteos (D'Haese, Speelman, Alary, Tillard y D'Haese, 2009; Carreño, Frank y Viglizzo, 2012) y por filosofías productivas de bajos costos operacionales por área en Australia y Nueva Zelanda (Callow, Gobius y Hetherington, 2005).

En los tres casos hay una influencia en dirección positiva hacia el incremento de la bio-eficiencia y/o paritar en la economía familiar del ganadero, lo no alcanzado en la realidad del sistema lechero (Bravo-Ureta *et al.*, 2007, Chang y Mishra, 2011; Comerón, 2012; Torres-Inga, Guevara, Guevara y Aguirre, 2016).

La eficiencia técnica alta para las unidades analizadas es explicada también por el empleo. Guevara *et al.* (2004) encontraron al clasificar unidades lecheras que un mayor número de obreros mejoraba el nivel de operaciones y la eficiencia por hectárea, por unidad de trabajo humano y por vaca.

Otros de los factores que favorecieron a las unidades del grupo 3 sobre las del grupo 2 fueron las relacionadas con un mejor manejo reproductivo, pues su superioridad en vacas servidas fue mayor, con el consiguiente mayor número de partos que va a determinar más vacas en ordeño. Un manejo reproductivo preciso junto a una alimentación adecuada garantiza indicadores de excelencia, tanto para la reproducción, la producción y la rentabilidad de los rebaños lecheros (Inchaisri *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES

Con el análisis de la eficiencia técnica en la producción de leche bovina mediante el método de redes neuronales es posible lograr resultados de muy buena precisión, los cuales permiten discriminar adecuadamente los factores; en este caso, variables incluidas y no en el modelo estimado, que permiten determi-

nar porque las granjas con mayores valores de eficiencia han sido clasificados por el modelo bajo ese rango.

Estudios como este permitirán monitorear de cerca esta rama productiva y anticipar, regular y mejorar su desempeño futuro, previo el aporte y apoyo estatal existente para el efecto.

REFERENCIAS

- AGSO (2016). *Ecuador produce 5.5 millones de leche. Asociación de Ganaderos de la Sierra y el Oriente*. Recuperado el 23 de marzo de 2017, de <http://agsosite.com/2015/10/ecuador-produce-5-5-millones-de-leche>.
- AREAL, F. J.; TIFFIN, R. y BALCOMBE, K. (2012). Farm Technical Efficiency Under a Tradable Milk Quota System. *Journal of dairy science*, 95 (1), 50-62.
- ATHANASSOPOULOS, A. D. y CURRAM, S. P. (1996). A Comparison of Data Envelopment Analysis and Artificial Neural Networks as Tools for Assessing the Efficiency of Decision Making Units. *Journal of the Operational Research Society*, 47 (8), 1000-1016.
- BRAVO-URETA, B. E.; SOLÍS, D.; LÓPEZ, V. H. M.; MARIPANI, J. F.; THIAM, A. y RIVAS, T. (2007). Technical Efficiency in Farming: a Meta-Regression Analysis. *Journal of productivity Analysis*, 27 (1), 57-72.
- CALLOW, M. N.; GOBIUS, N. y HETHERINGTON, G. (2005). Development of Profitable Milk Production Systems for Northern Australia: an Analysis of Intensification of Current Systems. *Australian Farm Business Management Journal*, 2 (1), 24-37.
- CARREÑO, L.; FRANK, F. C. y VIGLIZZO, E. F. (2012). Tradeoffs Between Economic and Ecosystem Services in Argentina During 50 Years of Land-Use Change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 154 (1), 68-77.
- CHANG, H. H. y MISHRA, A. K. (2011). Does the Milk Income Loss Contract Program Improve the Technical Efficiency of US Dairy Farms? *Journal of dairy science*, 94 (6), 2945-2951.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W. y RHODES, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European journal of operational research*, 2 (6), 429-444.
- COMERÓN, E. (2012). *Eficiencia de los sistemas lecheros a pastoreo y algunos factores que pueden afectarla*. Rosario, Argentina: INTA Rafaela.
- COBO, R. y BORROTO, O. (2013). Determinación de la eficiencia bioeconómica de la producción de leche mediante modelos de análisis envolvente de datos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 47 (3), 233-236
- D'HAESE, M.; SPEELMAN, S.; ALARY, V.; TILLARD, E. y D'HAESE, L. (2009). Efficiency in Milk Production on Reunion Island: Dealing with Land Scarcity. *Journal of dairy science*, 92 (8), 3676-3683.
- ESPAZ (2016). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INEC*. Recuperado el 23 de marzo de 2017, de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2>.
- FERNÁNDEZ-NAVARRO, F.; HERVÁS-MARTÍNEZ, C.; GARCÍA-ALONSO, C. y TORRES-JIMÉNEZ, M. (2011). Determination of Relative Agrarian Technical Efficiency by a Dynamic Over-Sampling Procedure Guided by Minimum Sensitivity. *Expert Systems with Applications*, 38 (10), 12483-12490.
- FLORES GUTIÉRREZ, J. O.; HERRERA-TOSCANO, J. y FLORES MÁRQUEZ, S. L. (2014). Cambios en la productividad y sus determinantes en explotaciones lecheras de Cuba. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria*, 110 (2), 187-207.
- GALLO, C.; CONTOA, F.; PIERMICHELE L. S.; ANTONAZZO A. P. (2013). A Neural Network Model for Classifying Olive Farms. *Procedia Technology*, 8 (2), 593-599.
- GUEVARA, G. V.; GUEVARA, R. V.; PEDRAZA, R. O.; MORALES, A. L.; FERNÁNDEZ, N. P. y MORELL, A. C. (2004). Clasificación dinámica de los sistemas de producción lechera de la cuenca Camagüey-Jimaguayú. *Rev. Prod. Anim.*, 16 (1), 25-33.
- INCHAISRI, C.; JORRITSMA, R.; VOS, A. M.; VAN DER WEIJDEN, G. C. y HOGVEEN, H. (2010). Economic Consequences of Reproductive Performance in Dairy Cattle. *Theriogenology*, 74 (5), 835-846.

- JIANG, N. y SHARP, B. (2014). Cost Efficiency of Dairy Farming in New Zealand: a Stochastic Frontier Analysis. *Agricultural and Resource Economics Review*, 43 (3), 406-418.
- GÓMEZ, J. M. (2016). Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina. *Estudios gerenciales*, 32 (1), 120-126.
- MUROVA, O. y CHIDMI, B. (2013). Technical Efficiency of US Dairy Farms and Federal Government Programs. *Applied Economics*, 45 (7), 839-847.
- PARLAKAY, O.; SEMERCI, A. y ÇELIK, A. D. (2015). Estimating Technical Efficiency of Dairy Farms in Turkey: a Case Study of Hatay Province. *Custos e Agronegócio Online*, 11 (1), 106-115.
- SANTIN, D.; DELGADO, F. J. y VALINO, A. (2004). The Measurement of Technical Efficiency: a Neural Network Approach. *Applied Economics*, 36 (6), 627-635.
- THEODORIDIS, A.; RAGKOS, A.; ROUSTEMIS, D.; GALANOPOULOS, K.; ABAS, Z. y SINAPIS, E. (2012). Assessing Technical Efficiency of Chios Sheep Farms with Data Envelopment Analysis. *Small Ruminant Research*, 107 (2), 85-91.
- TIMMER, C. P. (1971). Using a Probabilistic Frontier Production Function to Measure Technical Efficiency. *Journal of Political Economy*, 79 (4), 776-794.
- TORRES-INGA, C. S.; GUEVARA, G. V.; GUEVARA, R. V. y AGUIRRE, A. J. (2016). *Eficiencia técnica de la producción lechera en granjas bovinas de los Andes centrales*. IV Congreso Internacional de Economía: Equidad, Desarrollo Regional y Política Económica, Universidad de Cuenca, Ecuador.

Recibido: 10-9-2018

Aceptado: 16-9-2018

Conflicto de intereses: Ninguno