

MODELACIÓN NO PARAMÉTRICA PARA LA EFICIENCIA TÉCNICA DE LA PRODUCCIÓN LECHERA EN GRANJAS BOVINAS

NONPARAMETRIC MODELING FOR TECHNICAL EFFICIENCY OF MILK PRODUCTION IN ANDEAN HIGHLAND'S CATTLE FARMS

Torres-Inga, Carlos S.*¹; Guevara-Viera, Guillermo E.¹; Guevara-Viera, Raúl V.¹; Aguirre, A.
Javier^{1,2}

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca, Ecuador; ²Proyecto PROMETEO, Secretaría de
Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación. Quito, Ecuador.

Correos electrónicos: santiago.torres84@ucuenca.edu.ec; geguevarav@gmail.com; rguevaraviera@yahoo.es;
javi.aguirre@terra.com

RESUMEN

Para la determinación de la eficiencia técnica en la producción de leche se estudió información correspondiente a 842 granjas cada una con una extensión inferior a las 5 hectáreas de terreno mediante encuestas directas a productores de la sierra ecuatoriana durante los años 2015 y 2016. Para la modelación no paramétrica se aplicó el análisis envolvente de datos (DEA) con orientación output. Las variables técnicas incluidas en el modelo fueron: producción de leche anual (P) como variable de salida, en cambio el total de vacas (TV), los días abiertos (DA) y la duración de lactancia (DL) fueron las variables de entrada, las mismas que fueron altamente volátiles y no tuvieron un comportamiento normal. El promedio de la eficiencia técnica global (CRS) fue del 24,42%, mientras el promedio de la eficiencia técnica pura (VRS) fue del 31,79%, por lo que la diferencia entre los dos indicadores determinó que no todas las granjas operaron en una escala eficiente. La eficiencia de escala (EE) fue del 80,84% por lo que el aumento de la productividad (EE) podría llegar hasta este porcentaje. De acuerdo a los resultados se estima que la producción lechera podría incrementar hasta un 68% de producción. Del total de granjas, 15 (1,78%) fueron eficientes de acuerdo al modelo; de las granjas que no fueron eficientes, 119 (14,13%) tienen rendimientos decrecientes a escala (DRS) y 665 (78,98%) en cambio rendimientos crecientes a escala (IRS). Las granjas eficientes tuvieron estadísticamente ($P < 0,05$) una menor duración de lactancia (DL), un mayor uso de empleados permanentes (PE) así como una mayor producción (P). El tamaño del suelo (TS) también es menor ($P < 0,10$) en granjas eficientes. En el análisis de las variables introducidas en el modelo, se encontró que para la determinación de la eficiencia es necesario disminuir en un 20% la (DL), así como también los (DA).

Palabras clave

Eficiencia técnica, Análisis envolvente de datos, modelación, vacas, Ecuador

Abstract

To determine technical efficiency in milk production were studied 842 farms each one lower extension at 5 hectares of land through direct producers in the Ecuadorian highlands surveys during the years 2015 and 2016. For modeling nonparametric data envelopment analysis (DEA) was applied oriented output. Technical variables included in the model were: annual milk production (P) as output variable, whereas the total cows (TV), open days (DA) and the duration of lactation (DL) were the input variables, the same that were highly volatile and had a normal behavior. The average global technical efficiency (CRS) was 24.42%, while the average of pure technical efficiency (VRS) was 31.79%, so the difference between the two indicators determined that not all farms they operated in an efficient scale. Scale efficiency (EE) was 80.84% so that the increase in productivity (EE) could reach this percentage. According to the results it is estimated that milk production could increase up to 68% of production. Of total farms, 15 (1.78%) were efficient according to the model; farms that were not efficient, 119 (14.13%) have decreasing returns to scale (DRS) and 665 (78.98%) change in yields rising to scale (IRS). Efficient farms were statistically ($P < 0.05$) shorter duration of breastfeeding (DL), increased use of permanent employees (PE) as well as increased production (P). The size of the floor (TS) is also lower ($P < 0.10$) in efficient farms. In the analysis of the variables introduced in the model, it was found that for determining efficiency is necessary to reduce by 20% the (DL) as well as the (DA).

Keywords

Technical Efficiency, data envelopment analysis, modeling, dairy cows, Ecuador

INTRODUCCIÓN

La producción lechera de Ecuador tiene importantes oportunidades para aumentar, debido (a) los nuevos mercados internacionales de los que disponen para exportarla como Perú, Venezuela y Colombia, (b) la intervención del Estado en los programas de alimentación escolar, y (c) las recomendaciones de la FAO relativas al consumo de leche (litros/habitante/año) que en el país no se alcanzan adecuadamente (AGSO, 2016).

En el país, la producción de la sierra según la AGSO (2016) representa el 74% de toda la producción nacional. La provincia del Azuay tiene una participación importante, sin embargo, a pesar de utilizar aproximadamente la misma proporción de vacas que Pichincha (16% vs. 17%), la provincia con mayor producción lechera del país, la producción de leche es proporcionalmente la mitad (Azuay = 11%; Pichincha = 24%; Total sierra=100%).

Esto refleja que, en principio, la productividad por vaca (litros/vaca) es el doble para Pichincha con respecto al Azuay, (Azuay = 5; Pichincha = 10) (ESPAC, 2015) lo que refleja la necesidad de incrementar la eficiencia en la producción lechera.

La eficiencia de la producción de leche en granjas bovinas ha sido estudiada en diferentes países (Gaspar, 2009; Murova, 2013; Oviedo y Rodríguez, 2011). Los métodos para determinar la eficiencia en unidades productivas lecheras abarcan los paramétricos (Bravo-Ureta et al., 2007; Comerón, 2007; Toro et al., 2010; Jiang and Sharp, 2014), y los no paramétricos (Stokes et al., 2007; D'Haese et al., 2009; Theodoridis et al., 2012).

Para facilitar la toma de decisiones en las ganaderías de este tipo de territorios, el objetivo del presente trabajo fue analizar la eficiencia técnica, de granjas de menos de cinco hectáreas en la sierra Andina ecuatoriana, mediante el análisis envolvente de datos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y selección de las granjas

Las 842 granjas de producción lechera estudiadas tienen a las vacas alimentándose en pastoreo. Están localizadas en los Andes centrales de la sierra ecuatoriana, en la provincia del Azuay, en los 2°53'00" S y 79°00'00" O, sobre una altitud media de 2500 m s.n.m.; con una temperatura media entre los 10 y 29 °C; y una precipitación media de 878 mm/año.

Las granjas fueron seleccionadas mediante muestreo aleatorio estratificado con asignación proporcional de la información censal de Agrocalidad en Ecuador en el año 2015 (SIFAE) en el que se estima la existencia de 13.304 granjas con extensiones menores a cinco ha. El universo total es de 20.398 granjas registradas en toda la provincia de Azuay.

Se tuvo el acceso a la información mediante la aplicación de una encuesta directa a los dueños/responsables de las granjas, en la que se recolectó información de aspectos como el manejo, producción, reproducción además de los económicos y sociales; durante los años 2015 y 2016. Se ensayaron pruebas piloto para la evaluación, y validación en campo, de la encuesta.

Análisis de los datos y Modelo matemático

Las variables incluidas en el modelo matemático fueron seleccionadas de acuerdo con su variabilidad, medida a través de los estadísticos descriptivos: desviación estándar y coeficiente de variación. Las granjas presentan estadísticos volátiles en cada una de las variables (Tabla 1). Como variables representativas por su variabilidad se distinguen la producción de leche por año y unidad (P), total de vacas (TV), días abiertos (DA) y duración de la lactancia (DL). La edad al destete (ED) presentó una gran cantidad de datos perdidos, y

el tamaño del área (TS) corresponde a una variable de segmentación para el proceso de muestreo. Para el modelo aplicado fueron seleccionadas como variable de salida P , y como variables de entrada: TV , DL y ED , todas ellas variables relativas al manejo, de modo que pueden variar en un plazo corto. Adicionalmente se incluyeron más unidades que variables, con el objeto de evitar la posibilidad de detectar unidades eficientes cuando no lo son.

Tabla 1: Media, desviación estándar, coeficiente de variación y mediana de las variables escogidas para la construcción del modelo DEA.

| VARIABLES | Media | Desv. Est. | CV(%) | Mediana |
|---|---------|------------|-------|---------|
| Producción de leche ¹ (P, kg) | 5.796,2 | 288,74 | 145 | 3.650 |
| Tamaño del área (TS, ha) | 1,9 | 0,04 | 66 | 2 |
| Empleados contratados (EC, unidades) ² | 0 | 0,2 | --- | 0 |
| Duración de lactancia (DL; meses) | 11,3 | 0,13 | 34 | 11 |
| Total vacas (TV; UGM ³) | 2,9 | 0,10 | 104 | 2 |
| Días abiertos (OD; days) | 150,8 | 3,65 | 70 | 120 |
| Edad de destete (ED; meses) | 7,2 | 0,14 | 54 | 6 |

¹P = Producción de leche al año

²Personas empleadas 8 horas/día.

³UGM = Unidades de Ganado Mayor.

Para el análisis de la normalidad de los datos se usó el test Kolmogorov-Smirnov; todas las variables analizadas se caracterizaron por no seguir una distribución normal ($P < 0,001$), lo que impidió un análisis de regresión paramétrico, por lo que los métodos no paramétricos resultaron más adecuados.

Para la modelación de la frontera de producción se utilizó el método no paramétrico del Análisis envolvente de datos (DEA) el mismo que si se consideran n unidades productivas (granjas) y estas producen un output con Y_i unidades del mismo, estas serán con m inputs y con X_{ki} unidades del k -ésimo input.

El modelo implica la determinación anticipada de la orientación, hacia los inputs o hacia los outputs. Dado que para la localización de las granjas no existen restricciones a las cuotas de producción y se busca incrementar la misma, la orientación output será la elegida, por lo que el modelo maximiza θ_i y λ_j en un sistema de programación lineal sujeto a las siguientes restricciones:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j - \theta_i Y_i \geq 0 \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j X_{kj} \leq X_{ki} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (3)$$

Donde la restricción $\lambda_j \geq 0$ también se incluye y funciona como una restricción de no negatividad; los inputs considerados son $k = 1, \dots, m$; las unidades productivas (granjas) son $j = 1, \dots, n$; θ_i corresponde al incremento proporcional del output para la i -ésima granja; y λ_j la proporción del uso de los inputs. Si la restricción (3) es retirada, entonces se obtienen las eficiencias bajo los rendimientos constantes a escala. La función objetivo del modelo, que permite determinar el nivel de la frontera de producción para i -ésima granja, se calcularía mediante la expresión:

$$Y_i^* = \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j = \theta_i Y_i \quad (4)$$

La eficiencia técnica (TE) de la i -ésima granja, se determinó por el ratio:

$$TE_i = \frac{Y_i}{Y_i^*} \quad (5)$$

El modelo se simuló con el uso del programa (DEAP v.2.1; <http://www.uq.edu.au/economics/cepa/deap.php>), el mismo que permite determinar la eficiencia técnica global (CRS), la eficiencia técnica variable (VRS) y la eficiencia de escala (EE) para cada i -ésima granja incluida en el análisis. Las granjas con $TE_{VRS} = 1$ serán consideradas como eficientes y constituirán las unidades *Benchmarking* con las mejores prácticas detectadas. Adicionalmente el modelo determinó las granjas que no siendo eficientes, son granjas que tienen rendimientos decrecientes a escala (DRS) y rendimientos crecientes a escala (IRS).

Para la evaluación de las variables que distinguen a las granjas eficientes de las que no lo son, se usaron las diferencias significativas de las variables estudiadas y del número de personas contratadas por 8 horas (EC), entre grupos de granjas eficientes y no eficientes, mediante el estadístico U de Mann Whitney ($P < 0,05$), dado el comportamiento no normal de los datos. Para ello se usó el programa SPSS® (IBM Corp. Released 2012. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 21.0. Armonk, NY: IBM Corp.)

Finalmente mediante el análisis de los *slacks* que el modelo permite calcular, se estudió cada variable de entrada incluida en el mismo para determinar en que porcentaje debería modificarse las mismas para alcanzar mayores cuotas de producción.

RESULTADOS

Los resultados del cálculo de la eficiencia técnica global, variable y de escala se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Estadísticos para la Eficiencia técnica y granjas eficientes, con rendimientos crecientes a escala y rendimientos decrecientes a escala.

| Variables | Eficiencias calculadas | | |
|--------------------------|------------------------|-------------------|--------------|
| | TE _{CRS} | TE _{VRS} | EE |
| Media (%) | 24,42 | 31,79 | 80,84 |
| Error Estándar (%) | 2,4 | 3,1 | 2,9 |
| Mínimo | 2,1 | 2,3 | 15,8 |
| Máximo | 100 | 100 | 100 |
| Explotaciones Eficientes | 5 (0,59%) | 15 (1,78%) | 39 (4,63%) |
| Explotaciones DRS | | | 119 (14,13%) |
| Explotaciones IRS | | | 665 (78,98%) |

TE_{CRS}= Eficiencia Técnica global; TE_{VRS}= Eficiencia técnica variable; EE= Eficiencia de Escala.

Se observa que el aumento de la productividad, operando en escalas óptimas y medido por la (EE), sería casi del 81%. En términos económicos, podrían aumentar su productividad si modifican el uso de los insumos de acuerdo a las mejores prácticas identificadas (*Benchmarking*). Por otro lado, la interpretación de (TE_{VRS}) indica que se podría incrementar la cuota de producción de las granjas analizadas en un 68.21% (100% - 31.79%), de acuerdo con la estimación promedio. La diferencia entre (TE_{CRS}) y la (TE_{VRS}) indicaría que no todas las granjas operaron en una escala eficiente.

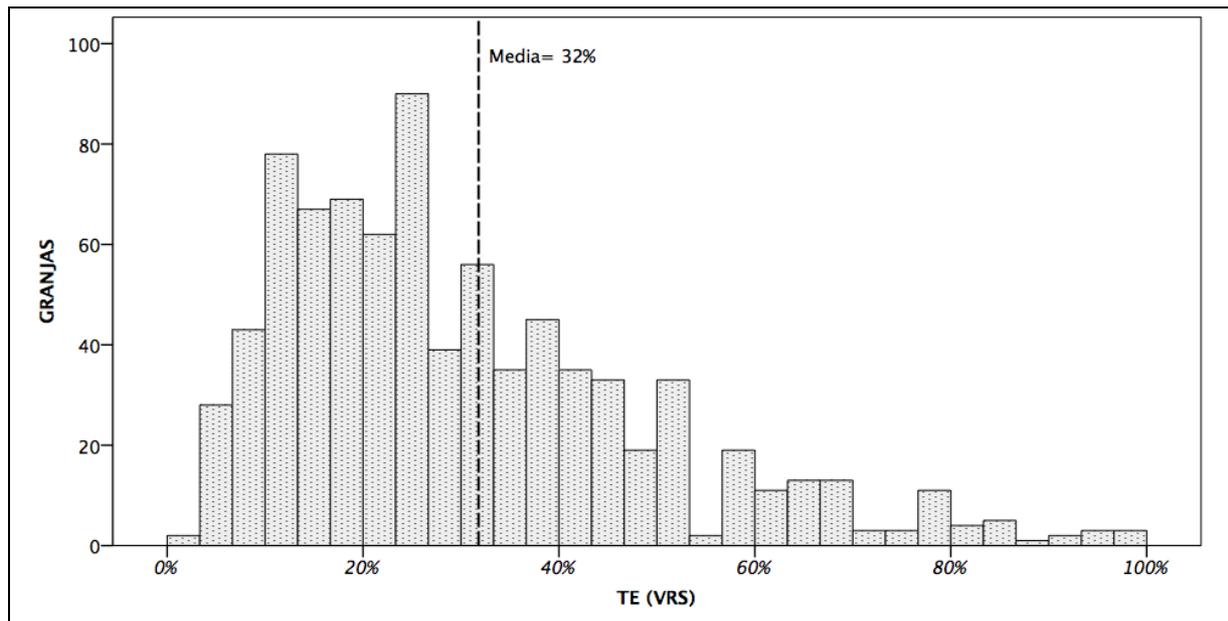


Figura 1: Histograma de frecuencias para la Eficiencia técnica variable (TE_{VRS}).

De acuerdo con los resultados obtenidos, observamos que la eficiencia técnica de todas las granjas no sigue una distribución normal (K-S test, $P < 0,001$). El histograma de frecuencias (Figura 1) muestra la gran cantidad de granjas que se tienen una eficiencia técnica variable (TE_{VRS}) inferior a la media (59,26% de las 842 granjas).

En relación a los rendimientos de escala: IRS y DRS, se observa que el mayor porcentaje de las granjas (78,98%), muestran IRS, en relación a las que muestran DRS. El modelo determinó que 119 granjas tienen rendimientos decrecientes a escala mientras 665 granjas tienen rendimientos crecientes a escala, lo que indica que podrían alcanzar mayores cuotas de producción si modifican adecuadamente la utilización de sus insumos hacia las mejores prácticas identificadas.

Tabla 3: Media, Mediana y Desviación estándar de diferentes variables para las granjas eficientes (eficiencia técnica = 1) y no eficientes (eficiencia técnica < 1). Diferentes letras ponen en evidencia diferencias significativas ($P < 0,05$) en la comparación de medias a través del test de la U de Mann-Whitney.

| Variables | Grupo con Eficiencia Técnica = 1 (n=15) | | | Grupo con Eficiencia Técnica < 1 (n=827) | | |
|---|---|---------|------------|--|---------|------------|
| | Media | Mediana | Desv. Est. | Media | Mediana | Desv. Est. |
| P ¹ (kg) | 27.277,7a | 6.205 | 38.735,41 | 5.406,59b | 3.650 | 6.124,46 |
| Tamaño del área (TS; ha) | 1a* | 1 | 1 | 2b* | 2 | 1 |
| Empleados contratados ² (EC) | 0,5a | 0 | 0,6 | 0b | 0 | 0,2 |
| Duración de la lactancia (DL; meses) | 10a | 10 | 1 | 11b | 11 | 4 |
| Total vacas (TV; unidades) | 8,9 | 2 | 14,49 | 2,8 | 2 | 2,25 |
| Días abiertos (DA; días) | 155,1 | 100,5 | 142,3 | 150,7 | 120 | 104,8 |
| Edad al destete (ED; meses) | 7 | 7 | 3 | 7 | 6 | 4 |

¹Promedio de producción de leche por año por unidad.

²Personas empleadas por 8 horas al día.

Si se comparan los datos de la Tabla 1 con la presentada con la Tabla 3, se pueden identificar las características adecuadas en términos de eficiencia. En la Tabla 1, la mediana de algunas variables de producción como: FA = 2; DL = 11; DA = 120; ED = 6, están fuera de los estándares de producción esperados para una granja eficiente, pues para las 15 identificadas como eficientes (Tabla 3), los valores de las medianas para las mismas variables son más adecuadas en términos productivos: FA = 1; DL = 10; DA = 100,5; que para las 827 granjas identificadas como ineficientes: FA = 2; DL = 11; OD = 120. Los resultados revelan que las granjas eficientes tienen significativamente menor DL, mayor P y PE que las no eficientes.

Análisis de los Slacks en insumos

Para aumentar la producción, la mayoría de las granjas ineficientes deben modificar los valores que forman la estructura de combinación de uso de los insumos (no todas las granjas requieren hacer ajustes a las variables de entrada para aumentar producción, algunas podrían incrementarla con las mismas variables, esto solamente para 152 granjas, 18% de las granjas ineficientes). De acuerdo al análisis se debe realizar disminuciones porcentuales fuertes para las variables DL y DA en porcentajes del 21% y 20% respectivamente.

DISCUSIÓN

Parece que este tipo de granjas, quizás debido a su reducida dimensión, tiene más dificultades para alcanzar la eficiencia técnica en la producción de leche; ni el 5 % de ellas alcanza la eficiencia de escala, lo cual es inferior a lo observado en ganaderías de diferentes continentes, como lo reportado por Parlakay et al (2015) y por Bravo-Ureta et al (2007) con más del 50% de unidades eficientes.

Más del 85% pueden incrementar su eficiencia, y en gran medida pudieran lograrlo si mejoran variables de manejo con la reducción de un mes de duración de la lactancia, como lo han logrado en las unidades estudiadas por Sweeney et al. (2010). También pueden trabajar en la mejora de la eficiencia mejorando la alimentación, técnicas de celaje y disciplina tecnológica el indicador días abiertos, y reducir los 40 días que la diferencia de las unidades especializadas eficientes en este aspecto, como las que reportan Aghajari et al. (2015). El empleo de mano de obra también puede ayudar hacia alcanzar la eficiencia, aunque puede representar un gasto adicional difícil de soportar por algunos propietarios.

Tanto la duración de la lactación como los días abiertos, presentan holguras importantes, y esos márgenes son aprovechables si se informa, divulga y capacita a los productores de la zona, pues de lo contrario su actual situación crítica puede hacerse irreversible, no pudiendo mantenerse y desaparecer como productores, con consecuencias sociales y económicas negativas para los cientos de familias afectadas.

CONCLUSIONES

Las unidades de pequeña superficie casi en su totalidad son ineficientes, pero una gran parte puede mejorar su desempeño, y por tanto su eficiencia, mejorando de la duración de la lactancia (-21%) y los días abiertos (-20%).

BIBLIOGRAFÍA

- Aghajari Z.,A. Ayatollahi A. Tahmasbi R. y Moghbeli M. (2015). Genetic and Phenotypic Trends of Productive and Reproductive Traits in Iranian Holstein Dairy Cattle of Isfahan Province. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 5(4): 819-825.
- AGSO. (2016). Ecuador produce 5.5 millones de leche. Asociación de Ganaderos de la Sierra y el Oriente. Artículo en internet: <http://agsosite.com/2015/10/ecuador-produce-5-5-millones-de-leche/>

- Bravo-Ureta, B.E., Solís, D., Moreira López, V.H. Maripani, J.F., Thiam, A., Rivas, T. (2007). Technical efficiency in farming: a meta-regression analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 27: 57-72.
- D'Haese, M., Speelman, S., Alary, V., Tillard, E. & D'Haese, L. (2009). Efficiency in milk production on Reunion Island: Dealing with land scarcity. *Journal of Dairy Science*, 92: 3676-3683.
- ESPAC. (2015). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INEC. Base de Datos disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- Comerón, E.A. (2007). Eficiencia productiva de los sistemas lecheros en zonas templadas (con especial referencia a América Latina y a Argentina). *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 15: 141-143.
- Gaspar, P., Mesías, F.J., Escribano, M., Pulido, F. (2009). Assessing the technical efficiency of extensive livestock farming systems in Extremadura, Spain. *Livestock Science*, 121: 7-14.
- Jiang, N., Sharp, B. (2014). Cost Efficiency of Dairy Farming in New Zealand: A Stochastic Frontier Analysis. *Agricultural and Resource Economics Review*, 43: 406-418.
- Murova, O., & Chidmi. B. (2013). Technical efficiency of US dairy farms and federal government programs. *Applied Economics*, 45: 839-847.
- Oviedo, W. & Rodríguez, G. (2011). Medición de la eficiencia técnica relativa de las fincas asociadas a Coounión en Guasca Cundinamarca. *Revista MVZ Córdoba*, 16: 2616-2627.
- Parlakay, O., Semerci A. and Çelik A.D. Estimating technical efficiency of dairy farms in turkey: a case study of Hatay province. 2015. *Custos e @gronegocio on line* 11: 106-115.
- Sweeney B.C., Rushen, J., Weary D.M., de Passille A.M. (2010). Duration of weaning, starter intake, and weight gain of dairy calves fed large amounts of milk. *Journal of dairy science* 93: 148-152.
- Stokes J.R., Tozer P.R, y Hyde J. (2007). Identifying efficient dairy producers using data envelopment analysis. *Journal of Dairy Science* 90(5): 2555-2562.
- Theodoridis, A., Ragkos, A., Roustemis, D., Galanopoulos, K., Abas, Z., & Sinapis, E., (2012). Assesing technical efficiency of Chios sheeps farms with data envelopment analysis, *Small Ruminant Research*, 107: 85-91.
- Toro, P., García, A., Aguilar, C., Acero, R., Perea, J., Vera, R. (2010). Modelos econométricos para el desarrollo de funciones de producción. Documento de trabajo 13, Grupo ECO-6. *Producción animal y gestión de empresas* 1, 1-55.