



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Análisis de benchmarking en sistemas de producción de leche del Piedemonte Araucano

Kathleen Elaine Suárez Cruz

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia – Departamento de Producción Animal
Bogotá D.C., Colombia

2020

Análisis de benchmarking en sistemas de producción de leche del Piedemonte Araucano

Kathleen Elaine Suárez Cruz

Tesis o trabajo de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magíster en Producción Animal

Director (a):

Ph.D., MSc, MVZ, Germán Afanador Téllez

Línea de Investigación:

Gestión Empresarial

Grupo de Investigación:

Gestión Tecnológica e Innovación en Sistemas Pecuarios

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia - Departamento de Producción Animal

Bogotá D.C., Colombia

2020

Dedicatoria

A Dios por su amor infinito e incondicional a ti padre celestial y maravilloso que forjaste todas las condiciones para que este sueño se hiciera una realidad.

A mis padres, hermanos y familiares por su apoyo y acompañamiento.

A mi maravillosa hija y compañero de vida por su amor, apoyo y motivación en el logro de mis objetivos.

A todas aquellas personas de alguna forma fueron parte fundamental en el proceso, en especial a mi tutor por su apoyo, paciencia y dedicación.

Agradecimientos

A Dios por brindarme las condiciones necesarias para cumplir esta meta de crecimiento profesional.

A la Gobernación del Departamento de Arauca, a la federación de comités de Ganaderos del departamento de Arauca, a la Universidad Nacional de Colombia, por su gestión en el desarrollo de Convenio de Cooperación Especial No. 559 de 2013 “Desarrollo de un programa de Gestión tecnológica para la innovación Social y productiva de la Carne y la Leche en Sistemas de Producción Bovina de la Región de los Llanos de Colombia”.

Al Dr Germán Afanador Téllez por ser mi director de Tesis, por apoyo, dedicación y orientación en el proceso.

A los docentes de la universidad Nacional por su aporte con sus conocimientos, a los productores ganaderos del departamento por ser parte fundamental en el desarrollo del proceso, a los compañeros de estudio y trabajo por su acompañamiento.

Resumen

Un factor crítico en los procesos de gestión de la calidad para la producción de carne y leche es evaluar el desempeño actual de los sistemas de producción bovina a nivel de finca para establecer indicadores reales que reflejan el comportamiento de unidades eficientes e ineficientes con el fin de realizar una adecuada gestión de los recursos disponibles y maximizar la productividad. El objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia técnica relativa de 224 unidades de producción de leche y carne bovina localizadas en el Piedemonte del Departamento de Arauca mediante la metodología del análisis envolvente de datos (DEA), una herramienta no paramétrica que presenta ventajas en su aplicación frente a la utilización de técnicas paramétricas como la estimación de fronteras estocásticas. El análisis se realizó empleando un modelo de rendimientos variables a escala (VRS) que permitió descomponer la medida de eficiencia técnica global (CRS) en eficiencia técnica pura (VRS) y de escala (EE); considerando una orientación *output*, buscando la maximización de la producción anual de carne y leche a partir de los niveles actuales en la utilización de *inputs*. Para evitar problemas en la especificación del modelo, se utilizó el método de regresión Stepwise para seleccionar el conjunto de variables de entrada que tenían una asociación más fuerte con la obtención de los productos mencionados. De esta forma se definieron como *inputs* la superficie agraria útil (ha), el inventario animal (UFS) y el uso de mano de obra (UTA). Debido a la sensibilidad del DEA ante la presencia de datos atípicos, se utilizó la metodología de identificación de outliers en modelos no paramétricos encontrando 13 observaciones atípicas y eliminándolas del conjunto de datos con el fin de generar resultados robustos. Con los puntajes de eficiencia técnica se realizó un análisis de segunda etapa mediante un modelo de regresión Tobit con el fin de determinar las variables que se relacionan con la eficiencia de las fincas evaluadas. Los resultados mostraron un índice medio de eficiencia técnica global (CRS) de 0.429, pura (VRS) de 0.505 y de escala de 0.867, generándose una mayor ganancia en la eficiencia derivada de un incremento en la producción de carne y leche (45.5%) respecto a un ajuste en la escala de producción (13.3%). Estas diferencias evidenciaron la existencia de ineficiencias de escala, con 139

(62%) fincas operando con rendimientos decrecientes (62%) y 59 (26%) con rendimientos crecientes a escala. El análisis de los rendimientos a escala permitió definir como tamaño óptimo de producción una utilización de 59 ha, 57 UFS y 3.2 UTA, con una producción anual promedio de 68,217 kg de leche y 7,518 kg de carne. Se determinaron los conjuntos de referencia para cada unidad ineficiente a partir de los cuales se pueden generar procesos de benchmarking para identificar las mejoras prácticas asociadas con el desempeño óptimo del proceso de producción. Los valores objetivos y proyectados para las fincas ineficientes indicaron porcentajes de mejora potencial en la obtención de leche y carne de 57% y 63%, respectivamente; y para el consumo de inputs, las mayores reducciones se obtuvieron en las entradas referentes a la superficie agraria útil (-20%) y el inventario animal (-26%). En el modelo de regresión Tobit, el número de vacas en ordeño, cría y levante, el uso de mano de obra por hectárea y la producción de leche mostraron una relación significativa y negativa con la ineficiencia. Por el contrario, la utilización de la superficie en pastos tuvo una relación significativa y directa con la ineficiencia, representando un factor crítico para la adecuada gestión de las unidades evaluadas.

Palabras clave: eficiencia técnica, análisis envolvente de datos (DEA), leche, carne, benchmarking, Piedemonte Araucano.

Abstract

A critical factor in the quality management processes in the dairy and beef cattle production systems is to evaluate the current performance of the farms to establish key performance indicators that demonstrates the behavior of efficient and inefficient units in order to achieve a correct management of available resources and maximize productivity. This study aimed to evaluate the technical efficiency of 224 dairy and beef production units located in the Arauca's Piedemonte microregion through the methodology of data envelopment analysis (DEA), a non-parametric tool that presents advantages over use of parametric techniques such as stochastic frontier estimation. The analysis was developed using an output orientated variable returns to scale model (VRS) that allowed decomposing the global technical efficiency measure (CRS) into pure technical efficiency (VRS) and scale efficiency (EE); focus on the maximization of the milk and beef meat annual production from the current levels in the use of inputs. To avoid problems in specifying the model, the Stepwise regression method was used to select the set of input variables that had a stronger association with the outputs. In this way, the land (ha), the number of livestock units (UFS) and the labor (UTA) were defined as inputs. Because to efficiency scores produced by DEA may be severely influenced by the presence of outliers in the data, the methodology for identifying outliers in non-parametric models was applied, identifying 13 outliers that were eliminated from the data set in order to obtain robust results. A second-stage analysis was carried out using a Tobit regression model to determine the factors that contribute to efficiency scores of the farms evaluated. The results showed an average global technical efficiency index (CRS) of 0.429, pure (VRS) of 0.505 and scale of 0.867, respectively; with a greater gain in efficiency derived from an increase in milk and beef meat production (45.5%) with respect to an adjustment in the scale of production (13.3%). These differences evidenced the existence of scale inefficiencies, with 139 (62%) farms operating with decreasing returns to scale (62%) and 59 (26%) with increasing returns to

scale. The analysis of returns to scale allowed defining as optimal production size a use of 59 ha, 57 UFS and 3.2 UTA, with an average annual production of 68,217 kg of dairy and 7,518 kg of beef. Benchmarks were determined for each inefficient DMU for performance benchmarking processes to identify best practices associated with an optimal performance of the production process. The current and target levels of outputs for inefficient farms indicated percentages of potential improvement in milk and beef meat production of 57% and 63%, respectively; and for the inputs, the greatest reductions were obtained in the land (-20%) and livestock units (-26%). In the Tobit regression model, the number of milking cows, calves, growing cattle, labor per hectare and milk production showed a significant and negative relationship with inefficiency. Otherwise, the land had a significant and direct relationship with inefficiency, representing a critical factor in the management of the DMUs.

Keywords: technical efficiency, data envelopment analysis (DEA), dairy, beef, benchmarking, Arauca's Piedemonte microregion.

Contenido

	Pag.
1. Capítulo 1: Estado del arte: características de los sistemas de producción de leche en el Piedemonte Araucano y el concepto de eficiencia.....	5
1.1 Caracterización estructural y tecnológica de los sistemas de producción bovina tropical.....	6
1.2 El contexto de la producción de leche en Colombia y su situación mundial	7
1.2.1 El mercado de la leche bovina.....	9
1.3 Descripción de la microrregión del Piedemonte Araucano	10
1.4 El concepto de eficiencia	12
1.4.1 Eficiencia técnica.....	14
1.4.2 Eficiencia asignativa.....	15
1.4.3 Eficiencia de escala.....	17
1.5 Medición de la eficiencia.....	17
1.5.1 Métodos para estimar la frontera de producción	19
1.6 Análisis envolvente de datos (DEA)	21
1.6.1 Representación de la tecnología de producción.	23
1.6.2 Programación lineal.....	24
1.6.3 Modelo de rendimientos constantes a escala (CRS)	25
1.6.4 Modelo de rendimientos variables a escala (VRS)	27
1.6.5 Slacks: eficiencia de Pareto Koopmans	30
1.6.6 Benchmark: Unidades pares.....	32
1.7 Análisis de Benchmarking.....	32
1.8 Investigaciones en el sector lechero bovino relacionadas con la metodología DEA	35
2. Capítulo 2: Estimación de la eficiencia técnica y análisis de segunda etapa en sistemas de producción de doble propósito del Piedemonte Araucano	41
2.1 Introducción.....	41
2.2 Materiales y Métodos.....	42
2.2.1 Localización y selección de la muestra	42
2.2.2 Recolección de información.....	43
2.2.3 Detección de outliers.....	43
2.2.4 Estimación de la eficiencia técnica	44
2.2.5 Definición de variables <i>input</i> y <i>output</i> del modelo DEA.....	48
2.2.6 Identificación de fincas benchmark.....	49
2.2.7 Análisis Tobit	49
2.3 Resultados y discusión	51
2.3.1 Definición de Variables <i>input</i> y <i>output</i> del modelo DEA.....	51
2.3.2 Detección de Outliers	53

2.3.3 Estadística descriptiva de las variables del modelo	55
2.3.4 Análisis de eficiencia técnica	56
2.3.5 Identificación de fincas benchmark y sus características	68
2.3.6 Holguras y mejora potencial de las fincas ineficientes.....	72
2.3.7 Análisis de segunda etapa: regresión Tobit	76
3. Conclusiones y recomendaciones	83
3.1 Conclusiones.....	83
3.2 Recomendaciones	86
Anexo A: Conjuntos de referencia para las 196 unidades ineficientes	89
Anexo B: Valores observados en el consumo de inputs y la obtención de outputs en las 224 fincas analizadas.....	95
Anexo C: Valores proyectados en el consumo de inputs y la obtención de outputs de las 224 fincas analizadas.....	103
Anexo D: Holguras el consumo de inputs y outputs y movimiento radial de outputs de las 224 fincas analizadas.....	111
Anexo E: Porcentajes de mejora potencial en el consumo de inputs y obtención de outputs de las 224 fincas analizadas	119
Bibliografía	127

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Eficiencia Técnica (Unidad Isocuanta)	14
Figura 1-2: Eficiencia Asignativa (Unidad Isocoste)	16
Figura 1-3: Frontera de posibilidades de producción y orientación de la medición	18
Figura 1-4: Fronteras alternativas	20
Figura 1-5: Frontera eficiente y conjunto de posibilidades de producción	24
Figura 1-6: Frontera CRS y VRS	28
Figura 1-7: Estimación de holguras.....	31
Figura 2-1: Valores log-ratio para 14 observaciones	54
Figura 2-2: Distribución de frecuencias de los índices de eficiencia.	65

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Productividad de leche en Colombia vs países líderes a nivel mundial.....	9
Tabla 1-2: Clasificación de los métodos de estimación de frontera.....	20
Tabla 1-3: Modelo matemático primal y dual.....	25
Tabla 1-4: Valoración de los tipos benchmarking de acuerdo con el objeto y agente de estudio.....	34
Tabla 1-5: Investigaciones de eficiencia en sistemas de producción de leche mediante DEA.....	38
Tabla 2-1: Variables independientes modelo Tobit.....	50
Tabla 2-2: Selección de variables input - producción de leche.....	52
Tabla 2-3: Selección de variables input - producción de carne.	53
Tabla 2-4: Identificación de observaciones atípicas.....	54
Tabla 2-5: Distribución de la muestra en estudio.....	55
Tabla 2-6: Estadística descriptiva de las variables <i>input</i> y <i>output</i>	55
Tabla 2-7: Medida de eficiencia técnica y de escala de los sistemas de producción de leche y carne del Piedemonte Araucano.	56
Tabla 2-8: Estadística descriptiva de los resultados del modelo para la determinación de la eficiencia.....	63
Tabla 2-9: Puntajes de eficiencia según el tipo de rendimientos a escala.	67
Tabla 2-10: Utilización de inputs y obtención de outputs de acuerdo a rendimientos de escala.....	67
Tabla 2-11: Frecuencia de las fincas eficientes en los conjuntos de referencia.....	68
Tabla 2-12: Conjunto de referencia para la unidad ineficiente numero 8.....	71
Tabla 2-13: Valores <i>input</i> y <i>output</i> de las unidades eficientes.....	71
Tabla 2-14: Estadística descriptiva de los valores observados, objetivo y mejoras potenciales en los <i>inputs</i> de los sistemas de producción bovina del Piedemonte Araucano.....	73
Tabla 2-15: Número de fincas que presentan holguras en los <i>inputs</i> y <i>outputs</i>	74
Tabla 2-16: Estadística descriptiva de los valores observados, objetivo, holguras y movimiento radial en los outputs de los sistemas de producción bovina del Piedemonte Araucano.....	74
Tabla 2-17: Estadística descriptiva de los porcentajes de mejora potencial de los outputs.....	76
Tabla 2-18: Modelo de regresión Tobit para los puntajes de ineficiencia.....	76

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura Término

<i>FAO</i>	Food and Agriculture Organization of the United Nations
<i>DMU</i>	Unidad de toma de decisiones
<i>CO₂-eq</i>	Dióxido de carbono equivalente
<i>CCR</i>	Modelo de Charnes, Cooper y Rhodes
<i>BCC</i>	Modelo de Banker, Charnes y Cooper
<i>CRS</i>	Modelo de rendimientos constantes a escala
<i>VRS</i>	Modelo de rendimientos variables a escala
<i>DEA</i>	Análisis envolvente de datos
<i>COLS</i>	Mínimos cuadrados ordinarios corregidos
<i>SFA</i>	Análisis de frontera estocástica
<i>SDEA</i>	Análisis envolvente de datos estocástico
<i>CPP</i>	Conjunto de posibilidades de producción
<i>ET</i>	Eficiencia técnica
<i>EA</i>	Eficiencia asignativa
<i>EG</i>	Eficiencia global
<i>EE</i>	Eficiencia de escala
<i>DRS</i>	Rendimientos decrecientes a escala
<i>IRS</i>	Rendimientos crecientes a escala

Abreviatura Término

<i>CRS</i>	Rendimientos constantes a escala
<i>SBM</i>	Medidas basadas en slacks
<i>LCA</i>	Análisis de ciclo de vida
<i>PBA</i>	Proyecto bovino Arauca
<i>ETP</i>	Eficiencia técnica pura
<i>DMS</i>	Digestibilidad de la materia seca
<i>IMS</i>	Potencial de ingestión de materia seca
<i>FDN</i>	Fibra en detergente neutro
<i>FDA</i>	Fibra en detergente ácido
R^2	Coefficiente de determinación
<i>SAU</i>	Superficie agraria útil
<i>MOH</i>	Uso de mano de obra por hectárea
<i>MJ</i>	Megajulios
<i>CA</i>	Carga animal
<i>VACASO</i>	Numero de vacas en ordeño
<i>NAT</i>	Porcentaje de natalidad
<i>UFS</i>	Unidades funcionales
<i>UTA</i>	Unidades de trabajo anual
<i>PEERS</i>	Unidades pares de referencia
<i>gr</i>	Gramos
<i>kg</i>	kilogramos

Introducción

Los sistemas de producción bovina de doble propósito tienen como fin la producción de carne y leche para consumo humano en contextos específicos, condiciones del mercado y la potencialidad de incrementar los ingresos de pequeños y medianos productores (Juárez-Barrientos et al., 2015). En Colombia, los sistemas de producción de doble propósito se encuentran localizados principalmente en regiones del trópico bajo que se ubican en alturas comprendidas entre los 0 y 1,000 metros sobre el nivel del mar (Uribe, Zuluaga, Valencia, Murgueitio, & Ochoa, 2011) y su importancia a nivel nacional radica en que contribuyen con el 42.78% del inventario de ganado bovino y el 57.5% de la producción de leche (Federación Nacional de Ganaderos [FEDEGAN] & Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA], 2013).

La clasificación de estos sistemas de producción ha sido desarrollada en el pasado en el contexto de las microrregiones de los Piedemontes: Araucano, Casanareño y Metense de los Llanos Orientales de Colombia a través de la aplicación de técnicas estadísticas para la conformación de conglomerados de sistemas de producción representativos de la región. Este análisis ha permitido identificar tres tipologías de producción bovina de doble propósito. La primera corresponde a sistemas tradicionales con baja capacidad empresarial y tecnológica, la segunda hace referencia a un sistema mejorado con una moderada capacidad empresarial y tecnológica y la tercera describe un sistema intensivo con una alta capacidad empresarial y tecnológica, representados por el 78.55%, 14.30% y 7.15% del total de las unidades de producción estudiadas, respectivamente. En consecuencia, un 92.85% de estas unidades se pueden clasificar como sistemas tradicionales y mejorados con una gestión tecnológica limitada e índices de productividad inferiores a los que es posible alcanzar en la región (Cortés-Mora, Cotes-Torres, & Cotes-Torres, 2014), lo cual es una tendencia que se observa en otras ubicaciones geográficas con sistemas de producción de doble propósito (Granados-Rivera et al., 2019). Adicionalmente, esta tipología productiva basa su alimentación exclusivamente en praderas con gramíneas nativas e introducidas, con baja o nula utilización de insumos y

con animales con características fenotípicas de *Bos indicus* o individuos mestizos *Bos taurus* por *Bos indicus*. Esto contribuye con la existencia de bajas cargas animales, bajas ganancias de peso corporal y producción de leche. Lo anterior evidencia la necesidad de estudiar su desempeño, determinar los factores de estructura y funcionalidad que se relacionan con la eficiencia de producción y formular estrategias de mejora.

Por otra parte, para asegurar la sostenibilidad a través del tiempo de este tipo de ganaderías en términos ambientales, económicos y sociales es necesario optimizar la eficiencia en el uso de los recursos productivos y ambientales (Pinzón, 2007), e integrar los factores tecnológicos y no- tecnológicos identificados en los sistemas de producción eficientes, para satisfacer las demandas del mercado y promover procesos de mejora.

A pesar de ser descritos como sistemas con niveles de gestión tecnológica y empresarial limitada también han sido definidos como una alternativa viable para la producción bovina debido a las características de estructuración y funcionalidad de los subsistemas que lo componen (Murgueitio, 1992) así como de su proyección multifuncional que le permite adaptarse y ser resiliente frente a diferentes condiciones agroecológicas y socioeconómicas (Urdaneta, Peña, Rincón, Romero, & Rendón-Ortín, 2008). Estas características asociadas a la complejidad han motivado la implementación de técnicas analíticas que permiten definir el óptimo técnico de la producción de leche y carne (Bautista et al., 2019) y la formulación de estrategias en torno a los resultados obtenidos (Rangel et al., 2020). Se destaca en estos propósitos el análisis envolvente de datos (DEA) como un método no paramétrico que puede ser empleado como una herramienta estratégica para evaluar el comportamiento de un sistema de producción, realizar procesos de benchmarking y proyectar en prospectiva dicho sistema, mejorar la asignación de los recursos necesarios para la producción, definir unidades productivas eficientes a emular y junto con el análisis de segunda etapa, determinar las mejores prácticas para optimizar los procesos dentro sistemas de producción ineficientes (González, 2019).

El método DEA permite valorar el comportamiento de un conjunto de entidades pares denominadas unidades para la toma decisiones (DMU por sus siglas en inglés) con respecto a las mejores unidades en el contexto, las cuales forman una frontera eficiente. El método fue desarrollado por el grupo de Charnes, Cooper, y Rhodes (1978) y desde esa época ha sido empleado en una amplia variedad de industrias y aplicaciones orientadas a evaluar el comportamiento de los diferentes tipos de unidades productivas y de escalas de

eficiencia, con una aplicación en el corto plazo de los hallazgos a las condiciones reales de producción (González, 2019).

El objetivo de esta investigación fue desarrollar un estudio de benchmarking mediante la medición de la eficiencia técnica relativa de los sistemas de producción de leche del Piedemonte Araucano utilizando la metodología DEA. Con el fin de contribuir al desarrollo de este, se estimaron los índices de eficiencia técnica global, pura y de escala, se definieron los valores de holgura y los niveles objetivo en el consumo de entradas (*inputs*) y en la obtención de salidas (*outputs*) necesarios para optimizar la productividad de la leche en la microrregión, se identificaron las fincas referentes para el desarrollo de procesos de benchmarking y mediante un análisis de segunda etapa, se investigaron los factores tecnológicos y no tecnológicos que influyen en la eficiencia del proceso de producción. La hipótesis formulada en esta investigación es que el uso del DEA es una herramienta exitosa para desarrollar estudios de benchmarking que promuevan la toma de decisiones a nivel de un grupo de fincas mediante la evaluación del comportamiento y el establecimiento de objetivos de producción a alcanzar.

La presente tesis se divide en dos capítulos: el primero corresponde a la revisión del estado del arte donde se describen las condiciones propias de los sistemas de producción de leche a evaluar, la definición conceptual de eficiencia y benchmarking que permite construir la base teórica para el logro de los objetivos propuestos y la presentación de investigaciones que utilizan la metodología DEA en el contexto de los sistemas de producción de proteína animal y de sistemas de producción de bovinos, principalmente doble propósito. El capítulo 2 presenta la metodología utilizada para la evaluación de la eficiencia, la definición de las variables *input* y *output* incluidas en el modelo y el análisis de *outliers*; así como los resultados obtenidos en la estimación de la eficiencia técnica y su análisis correspondiente, los porcentajes de mejora, la identificación de las fincas referentes y el estudio de las características que influyen en los índices de eficiencia mediante un análisis de segunda etapa. Finalmente, se presentan las principales conclusiones y hallazgos en torno a este proceso de investigación y algunas recomendaciones frente al planteamiento de futuros estudios en sistemas de producción de leche con énfasis en sistemas de doble propósito y el potencial de producción para la microrregión estudiada.

1. Capítulo 1: Estado del arte: características de los sistemas de producción de leche en el Piedemonte Araucano y el concepto de eficiencia

Un sistema de producción se define como un conjunto de elementos coordinados que interactúan con el fin de alcanzar un objetivo común. A este sistema llegan diferentes entradas o insumos (materiales, financieros, humanos, información), a partir de las cuales cubre la demanda energética para su mantenimiento y funcionamiento. Igualmente, se identifican procesos internos funcionales y salidas o productos (bienes o servicios) que pueden ser caracterizados positiva o negativamente según su aporte social, económico y ambiental. Con el fin de asegurar el logro de las metas o fines del sistema, el flujo de información y la generación de conocimiento permiten realizar un proceso de retroalimentación que es considerado el mecanismo de control que permite evaluar la funcionalidad del sistema, los balances de recursos utilizados, los procesos realizados y la oportunidad para corregir las deficiencias y falencias en el tiempo (Johansen, 1993). Desde esta perspectiva, el análisis de la actividad ganadera bovina debe considerar la estrecha dependencia entre los componentes del sistema de producción y los objetivos previstos por el productor en un marco de mercado, caracterizado por indicadores de competitividad y sostenibilidad (Rodríguez-Qüenza, Correa-Toro, Hernández-Rodríguez, & Salamanca, 2019).

El estudio de los sistemas de producción bovina requiere un análisis de sus características, estructurales y tecnológicas a nivel de las unidades de producción y en contextos específicos territoriales que incluyen espacios físicos y sociales. Estos estudios representan un importante conocimiento y entendimiento del sistema de producción desde una perspectiva estructural y funcional (Castel et al., 2003). Su importancia radica en que constituyen paisajes únicos de alto valor cultural y ecológico (Gellrich, Baur, Koch, &

Zimmermann, 2007; MacDonald et al., 2000) enmarcada en una identidad de las comunidades a nivel regional (Hunziker, 1995).

1.1 Caracterización estructural y tecnológica de los sistemas de producción bovina tropical

La producción tropical de bovinos se caracteriza por su amplia variabilidad climática y condiciones agroecológicas de producción. La intensificación de la producción de leche ha promovido la especialización hacia una lechería tropical, pero el sistema de producción predominante es el doble propósito. El sistema de doble propósito se caracteriza por su gran flexibilidad, la adaptación a diferentes condiciones climáticas, las pocas inversiones de capital y de soporte tecnológico que requieren los sistemas más especializados (Rojo-Rubio et al., 2009). En general, este tipo de producción se enmarca en sistemas de bajo uso de insumos ya que la producción se soporta sobre el uso de los recursos naturales en un contexto específico produciendo carne y leche a partir del mismo animal (Yamamoto, Dewi, & Ibrahim, 2007). Las prioridades de producción varían significativamente de acuerdo a las preferencias de los productores, la estacionalidad de la producción que afecta la disponibilidad de biomasa forrajera, el consumo familiar, los mercados locales y las proporciones de ingresos generados por la venta de productos (Albarrán-Portillo et al., 2015). El modelo organizacional predominante tiene un carácter familiar, en donde la unidad de producción es manejada por la familia, aunque también se promueve el uso de mano de obra local (Espinosa-García et al., 2018). La aplicación y apropiación de desarrollos tecnológicos en estos sistemas de producción bovina están limitados y constituye un gran reto su implementación ya que en buena medida la misma está asociada con la competitividad, sostenibilidad y estabilidad de las fincas (De-Pablos-Herederó, Montes-Botella, & García-Martínez, 2018).

Aunque las tipologías de producción son frecuentemente elaboradas a nivel local, el análisis de jerarquías superiores regionales en zonas agroecológicas es bastante limitada o inexistente (Hernández-Castellano et al., 2019), de ahí la importancia de establecer en particular procesos de benchmarking para converger en prototipos predecibles sobre la intensidad de la producción, el tamaño de las fincas y las características de los sistemas tecnológicos predominantes a nivel de microrregión y región.

Diferentes estudios muestran que la tipología predominante en sistemas de doble propósito se caracteriza por los altos niveles de marginalización, la baja dependencia de insumos externos y el muy bajo nivel tecnológico (Magaña Monforte, Rios-Arjona, & Martínez-González, 2006). Sin embargo, cualquier aproximación a una tipología de producción y sus características tecnológicas constituye una herramienta clave para el diseño estratégico de políticas a nivel local y regional (Hernández-Castellano et al., 2019). En general, los productores seleccionan tecnologías de bajo costo, apropiadas al contexto y fáciles de implementar (Vilaboa Arroniz & Díaz Rivera, 2009) y las áreas de mayor desarrollo tecnológico son generalmente cuantificadas mediante procesos de benchmarking (Rangel et al., 2016).

Los sistemas bovinos de doble propósito contribuyen estratégicamente a la seguridad alimentaria y a la disponibilidad y el acceso equitativo y estable de sus productos en los sistemas agroalimentarios (Espinosa García & Wiggins, 2003). En esta tipología de producción, cotidianamente los productores pueden reorientar el proceso de acuerdo a la disponibilidad de recursos endógenos territoriales y a los precios existentes de la leche y la carne (Torres et al., 2015). Igualmente, desde el punto de vista ambiental, los estudios muestran un menor nivel de emisiones de metano y un bajo consumo de energía exógena hacia el sistema. En esta misma dirección constituye una respuesta en sistemas frágiles al cambio climático como la pérdida de biodiversidad y la conservación de los suelos y el recurso agua, aportando una mayor capacidad resiliencia y estabilidad de los recursos naturales (Gerber et al., 2013).

1.2 El contexto de la producción de leche en Colombia y su situación mundial

La ganadería bovina es la actividad económica con mayor presencia a lo largo del territorio nacional y se presenta en diversas especialidades: cría, levante, ceba, lechería especializada y doble propósito. Para el año 2016 se registraron alrededor de 512 mil predios con presencia de bovinos en el país, de los cuales el 67.1% contaban con menos de 25 animales por finca y corresponde a los sistemas de producción de leche de pequeña escala ubicados en el trópico alto. Por el contrario, un 31.5% corresponde a sistemas de producción de mediana escala con un número de animales en un rango de 26 a 500. Solamente el 10% de los predios cuenta con un inventario de más de 500 animales con una ganadería que se considera como de alta escala de producción. La actividad lechera

genera más de 650,000 empleos directos, donde la lechería especializada contribuye con 7.9 empleos por cada 100 animales y el doble propósito con 5.5 empleos. (FEDEGAN, 2018).

En términos de producción, la lechería especializada aporta el 45% de la producción nacional y hace referencia a los sistemas que realizan la producción a partir de razas especializadas (puras o con un alto porcentaje de razas europeas *Bos taurus*) más no a la especialización tecnológica. Los animales son suplementados con concentrados comerciales y forrajes conservados, por lo tanto, la productividad por vaca es alta. El ordeño se realiza sin ternero y el ternero macho es vendido a los pocos días de vida. Gran parte del volumen de producción proviene de pequeños productores del trópico de altura con predios que contienen menos de 10 animales y con bajos niveles de uso de las innovaciones tecnológicas. Por otra parte, el sistema de doble propósito aporta el mayor porcentaje de la producción nacional de leche (55%) proveniente de ganaderías de carne con razas cebuinas principalmente. Estos sistemas se ubican mayormente en el trópico bajo, la alimentación de los animales se basa en sistemas extensivos con la utilización de forrajes en pastoreo, con muy bajas producciones individuales por vaca. El ordeño se lleva a cabo con el ternero, el cual es vendido después del destete. La relevancia de estos sistemas radica en su sostenibilidad en términos económicos y sociales para las comunidades debido a que permiten tener ingresos diarios, los cuales soportan los largos tiempo de recuperación de la inversión de la ganadería de carne (FEDEGAN, 2018).

La actividad ganadera se encuentra expuesta a tratados de libre comercio con países que son una potencia en la producción de carne y leche. Sin embargo, esto no ha favorecido las exportaciones, por el contrario, se ha fomentado la importación de productos, afectando los precios del mercado y la economía familiar de la gran mayoría de pequeños productores. Es este el caso de la leche, donde alrededor del 43% de la producción no es procesada por la industria, que en contraste importa y afecta económica y socialmente a los productores (FEDEGAN - FNG, 2014; FEDEGAN, 2020b). El inventario ganadero y la productividad de los sistemas lecheros en Colombia comparada con países líderes se observa en la Tabla 1-1. Colombia cuenta con un inventario de vacas en producción superior a la encontrada en países como Argentina, Nueva Zelanda y Australia; sin embargo, la productividad por animal para cada uno de los países es 6.2, 4.4 y 5.5 veces mayor que la de Colombia, respectivamente. En América Latina, Colombia se ha posicionado como el cuarto país productor de leche, después de Brasil, México y

Argentina. Lo anterior indica que se deben generar cambios en la actividad ganadera, donde la integración de la cadena productiva y los procesos de asociatividad constituyen un factor crítico para lograr cambios estructurales e incrementar la competitividad del sector. Además, es importante mencionar que gran parte del desarrollo sectorial depende de políticas públicas, con una visión de largo plazo (FEDEGAN - FNG, 2014).

Tabla 1-1: Productividad de leche en Colombia vs países líderes a nivel mundial

INDICADOR	UNIDADES	Colombia	EE. UU.	Unión Europea	Argentina	Nueva Zelanda	Australia
Inventario total	Millones de cabezas	28,2	94,4	87,2	54,8	10,2	25,2
Inventario de vacas en producción	Millones de cabezas	9	9,3	23	1,6	5,0	1,47
Producción de leche	Litros/año	7,301 millones	99,056 millones	161,150 millones	10,600 millones	22,498 millones	8,704 millones
Productividad	Litros/vaca/día	3.5	34.8	22.9	21.7	14.7	19.4

Fuente: FAPRI-MU (2019); FEDEGAN (2020b); ICA (2020); SENASA (2018); USDA-FAS (2019); USDA (2020a); USDA (2020b); USDA & NASS (2020).

1.2.1 El mercado de la leche bovina

Durante el año 2019 en Colombia, el volumen de producción de leche se vio influenciado por variaciones climáticas asociadas a precipitaciones inferiores a las registradas normalmente en el territorio nacional, principalmente en las regiones: Caribe, Andina y los Llanos Orientales, con un total de 7,301 millones de leche producidos, incrementando solamente un 0.6% la producción con respecto al 2018 (FEDEGAN, 2020a). El acopio formal disminuyó en un 0.6% respecto al año 2018. A partir del bajo acopio de la industria se deriva una de las mayores distorsiones en la cadena de producción como es la comercialización sin procesamiento, es decir, la venta de la leche cruda y a través de canales informales, lo cual genera un riesgo para la salud humana. Este bajo acopio ocasionó una escasez de la oferta del producto, registrándose el mayor volumen histórico de importaciones de leche en polvo desde Estados Unidos y de la Unión Europea, además de lacto sueros, quesos y derivados lácteos. Debido a esto, el precio del litro de leche pagado al productor mantuvo una tendencia al alza mejorando los ingresos de los ganaderos, especialmente los pequeños

productores. Adicionalmente, mediante la actualización de la Resolución 017 de 2012 se incrementó el precio por litro de leche cruda en un 3.23%, ya que se modificaron los valores de proteína, grasa, sólidos totales y las bonificaciones por calidad higiénica. Sin embargo, respecto a mercados como los de la Unión Europea y Estados Unidos, los precios en Colombia para el año 2019 fueron inferiores, mientras que una tendencia superior fue observada en relación con países como: Argentina, Uruguay y México, los cuales registraron un precio promedio de USD 0.30, haciendo menos competitivo exportar a estos mercados (FEDEGAN, 2020a). En este sentido, en el 2019, las exportaciones de productos lácteos fueron inferiores en un 54% respecto al año 2018 con un total de 2,361 toneladas exportadas a países como Estados Unidos, Chile y Rusia, con productos como leche en polvo, quesos, mantequilla y yogurt. Esta disminución se debe a la falta de competitividad y la carencia de visión exportadora de la industria (FEDEGAN, 2020a).

Respecto al consumo de leche a nivel nacional, este se incrementó en un 7% en el último año, con un consumo aparente de 158 litros/habitante/año, lo cual es el resultado de factores como: la masiva migración de la población venezolana que ha fomentado la demanda del producto, el incremento de las importaciones de productos lácteos y la expansión de tiendas de bajo costo que comercializan marcas con precios inferiores a los de las marcas tradicionales. Sin embargo, el consumo per cápita aún se encuentra por debajo del recomendado por la FAO (180 litros) y su consumo se concentra en los estratos 5 y 6 (FEDEGAN, 2020a).

1.3 Descripción de la microrregión del Piedemonte Araucano

La Orinoquía Colombiana o Región de los Llanos está compuesta por cuatro subregiones: el Piedemonte, la Altillanura plana, la Altillanura ondulada y las llanuras inundables. Dentro de este territorio, el Departamento de Arauca cuenta con una superficie de 23,818 km², se encuentra ubicado entre la cordillera Oriental y el límite con Venezuela, en el norte de los Llanos Orientales. Estos últimos pertenecen a la cuenca del Orinoco, un extensa y estratégica biorregión considerada como la tercera más importante del mundo y que comprende un área de 1'110,000 km², de los cuales un 62% hacen parte del territorio venezolano y un 34% del colombiano, donde se ubican los departamentos del Meta, Vichada, Casanare, Guainía, Cundinamarca, Boyacá, Norte de Santander, Arauca y una parte del Guaviare. El departamento de Arauca presenta una gran variedad de

ecosistemas, especies vegetales, animales y fuentes hídricas, siendo su amplia oferta ambiental una de sus principales potencialidades para su crecimiento y desarrollo. Además, por sus características geográficas, se ha convertido en epicentro agrícola, ganadero y petrolero del oriente colombiano (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2011).

El departamento de Arauca cuenta con dos climas principales: tropical lluvioso y montaña tropical. El primero cubre el 85% del departamento y se caracteriza por una topografía plana y ligeramente ondulada, con altitudes que oscilan entre los 140 y los 1,000 msnm. Existen dos microrregiones denominadas genéricamente como: Piedemonte Araucano, a la que corresponden los municipios de Arauquita, Saravena, Fortul y Tame; y las Sabanas, de la que hacen parte los municipios de Cravo Norte, Puerto Rondón y Arauca. Estos se caracterizan por ser núcleos urbanos muy reducidos, desconectados entre sí y con la presencia de grandes áreas rurales a sus alrededores, por lo que presentan restricciones en conectividad (DNP, 2011).

El Piedemonte Araucano está determinado por los climas de montaña tropical y de alta montaña, con alturas que van desde los 200 m.s.n.m. hasta los 5,400 m.s.n.m. Dentro de esta microrregión se encuentran la Sierra Nevada del Cocuy y los ecosistemas de selva húmeda de los pisos subandino y altoandino localizados en áreas de laderas empinadas al descenso de la cordillera oriental. En esta microrregión predominan las tierras planas, pero al occidente existen cerros de baja altitud y al suroccidente se observan montañas que llegan hasta los 3,500 m.s.n.m. Por otra parte, la microrregión de Sabana es una área extensa caracterizada por un clima tropical lluvioso, en la cual se encuentran ecosistemas de sabana inundable acompañadas de formaciones de bosque de galería, que hacen parte de un complejo sistema hidrológico conformado por humedales, lagunas y morichales, cumpliendo una función de regulación del recurso hídrico (Camara de Comercio del Piedemonte Araucano, 2016; DNP, 2011).

La actividad ganadera del departamento de Arauca se orienta principalmente a la producción de carne, con un inventario bovino total de 1'187,948 cabezas (ICA, 2020), de las cuales, el 57% es cría, el 19% ceba, el 2% leche y el 22% doble propósito, principalmente en el Piedemonte Araucano, donde se ubica la Cooperativa de Lácteos de Tame, empresa con la mayor producción de derivados lácteos del departamento (DNP, 2011). En el Piedemonte Araucano, la ganadería se desarrolla en menores extensiones de

tierra que aquellas ubicadas en las Sabanas, con una mayor tecnificación de su proceso de producción y la implementación de programas de mejoramiento de praderas y mejoramiento genético, con la explotación de razas orientadas a la producción de doble propósito, buscando cruces que beneficien al productor. Esta microrregión posee los suelos con mayor potencial productivo y un mayor desarrollo en infraestructura económica y de servicios para la actividad ganadera, con una alta proporción de predios que oscilan en un tamaño de 20 a 500 ha, con una estructura de mediana y gran propiedad (Mendoza, 2011).

En contraste, en los municipios de las Sabanas Inundables, los sistemas de producción son de tipo extensivo tradicional, con bajos índices productivos y reproductivos y una limitada implementación de tecnología donde predominan el cruce de ganado criollo con cebú y las pasturas naturales (Rincón, 1997; Universidad Nacional de Colombia [UNAL], 2018). Generalmente, el nivel de adopción tecnológica se presenta mayormente en predios que tienen una cercanía a los centros urbanos o a las vías principales, lo que permite acceder con mayor facilidad a insumos, equipos, instalaciones, etc. Igualmente, en estos predios predominan las razas especializadas en la producción de leche (Rodríguez-Qüenza et al., 2019).

Las oportunidades asociadas con la oferta ambiental del departamento para desarrollar la actividad ganadera la convierten en una alternativa de desarrollo local que se debe fortalecer, ya que enfrenta desafíos asociados a la vinculación con mercados nacionales e internacionales, mayor competitividad y especialización de la actividad. En este sentido, se hace necesario corregir su baja eficiencia en términos de productividad y competitividad asociada a la baja implementación de tecnologías, la falta de generación de valor agregado a la producción y la carencia de infraestructuras que soporten la producción y comercialización de la leche y la carne (DNP, 2011).

1.4 El concepto de eficiencia

El concepto de eficiencia hace referencia a la manera más adecuada de utilizar los recursos disponibles que tiene una unidad de producción de acuerdo con la tecnología existente. Desde la perspectiva económica, se define como la relación entre los resultados obtenidos (*outputs*) y los recursos utilizados (*inputs*), donde un proceso de producción se

califica como eficiente si se obtiene el máximo nivel de *output* a partir de un uso óptimo de *inputs* (Coelli, Rao, O'Donnell, & Battese, 2005; Coll & Blasco, 2006).

El concepto de eficiencia desde la perspectiva microeconómica fue introducido inicialmente por Farrell (1957) mediante el enfoque de frontera convexa. Este autor introdujo un método simple para la medición de la eficiencia de una organización a partir de los datos observados de un proceso y considerando un único *output* y múltiples *inputs* involucrados en la producción. Este autor propuso que la eficiencia global de una organización tiene dos componentes: una eficiencia técnica y una asignativa y su análisis permite obtener una medida relativa, ya que la eficiencia de una unidad productiva se obtiene en relación con todas las demás unidades en un grupo representativo y homogéneo. El autor menciona que de esta forma se puede obtener una medida más apropiada ya que se compara el desempeño con respecto al mejor comportamiento observado o la combinación de las mejores prácticas en lugar de establecer un óptimo teórico (Fraser & Cordina, 1999).

En el concepto de eficiencia desarrollado por Farrell (1957) considera que las empresas operan bajo rendimientos constantes a escala, es decir, el incremento porcentual en el *output* es igual al incremento porcentual de los *inputs*. Esto permite que la tecnología de producción pueda ser representada mediante la unidad isocuanta que identifica las distintas combinaciones de factores (*inputs*) que una empresa perfectamente eficiente podría usar para producir una unidad de salida (*output*). Sin embargo, esta es una de las principales desventajas de este planteamiento. Esta unidad isocuanta es convexa hacia el origen y tiene pendiente no positiva, por lo tanto, el incremento en el *input* por unidad de *output* de un factor indica una eficiencia técnica más baja. Además, en este planteamiento la función de producción eficiente es conocida.

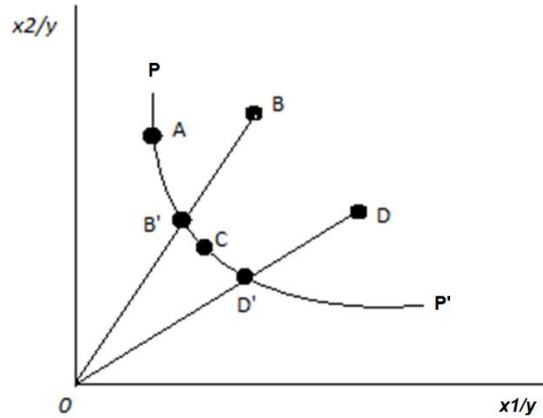
La investigación formal de la eficiencia en términos analíticos y empíricos se dio dos décadas después a partir de un desarrollo matemático de programación lineal para ampliar su aplicación (Afriat, 1972). Posteriormente, Charnes et al. (1978) fueron los pioneros en la utilización del análisis envolvente de datos (DEA) para la estimación de la eficiencia, planteando un modelo que asume retornos constantes a escala (CCR). Debido a que este modelo restringe su aplicación en algunos contextos, se extendió su planteamiento hacia un modelo que asume retornos variables a escala (BCC) (Banker, Charnes, & Cooper, 1984). Actualmente se pueden encontrar diversos métodos para realizar la medición de la eficiencia, los cuales se han aplicado en un gran número de sectores e industrias, desde

el ámbito privado al sector público, ya que analizar su desempeño y eficiencia les permite expandir su producción, progresar desde un punto de vista técnico y económico, y en el sector público es necesario para la formulación de políticas económicas acordes a las necesidades de la población (Ayaviri & Silverio, 2004).

1.4.1 Eficiencia técnica

La eficiencia técnica se refiere al grado en que el *output* obtenido en una unidad de producción alcanza el óptimo teórico proyectado por la función de producción. Con el fin de ejemplificar este concepto, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se pueden observar cuatro unidades de producción, A, B, C y D, cada una produciendo un *output* (y) a partir de dos *inputs* (x_1, x_2), por lo que la frontera de producción se puede escribir como $f(x_1/y, x_2/y) = 1$ y se representa por la unidad isocuanta (PP'). La medida de eficiencia técnica de una unidad de producción se obtiene a partir del valor observado y el óptimo proyectado por la frontera de producción. Las empresas que operen sobre la frontera de producción serán consideradas eficientes técnicamente (A y C) ya que tendrán combinaciones de *inputs* que permiten obtener la máxima productividad o cantidad de *output*. Por el contrario, a partir de un enfoque hacia la minimización de las entradas, las unidades que se encuentran por encima de la frontera serán calificadas como ineficientes debido a que se existe una combinación de factores que permite obtener el mismo nivel de producción con un menor consumo de *inputs* (Coelli et al., 2005; Coll & Blasco 2006; Álvarez 2013; Pardo Sempere, 2001). De esta forma, las unidades B y D son consideradas ineficientes.

Figura 1-1: Eficiencia Técnica (Unidad Isocuanta)



Fuente: Coll y Blasco (2006).

Al trazar una línea desde el origen hasta los puntos B y D, esta corta a la isocuanta eficiente en los puntos B' y D', por lo que el nivel de ineficiencia o el exceso de utilización en los niveles de *inputs* para cada una está dado por la distancia B'B y D'D, respectivamente. Por lo tanto, para la unidad B, la puntuación de eficiencia es la relación entre OB' y OB (ver Ecuación (1-1)) y puede tomar valores entre 0 y 1, donde una puntuación inferior a 1 indica niveles de ineficiencia para la unidad evaluada (Coll & Blasco, 2006).

$$ET_B = \frac{OB'}{OB} \tag{1-1}$$

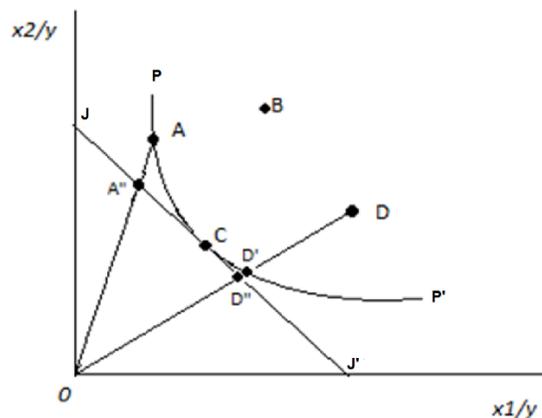
1.4.2 Eficiencia asignativa

El concepto descrito anteriormente involucra cantidades físicas y relaciones técnicas entre insumos y productos. Sin embargo, es importante también considerar el costo y el beneficio del proceso de producción. Es por esto por lo que surge el concepto de eficiencia asignativa, el cual puede incorporarse como una medida adicional a la eficiencia técnica si se conocen los precios de los *inputs* y *outputs* con el fin de maximizar el beneficio o minimizar el costo de producción utilizando los insumos en proporciones óptimas dados sus precios relativos. La eficiencia de asignación se consigue cuando no es posible mejorar el bienestar de un agente o proceso sin empeorar el bienestar de otro (óptimo de Patero) (Pardo Sempere, 2001). Se puede considerar también una eficiencia asignativa para una

mezcla de productos cuando una unidad de producción obtiene múltiples salidas (Lovell, 1993; Coelli et al., 2005; Álvarez, 2013).

En la Figura 1-2, la línea JJ' corresponde a la isocoste que representa la relación entre los precios de los factores (x_1 y x_2) para las unidades A, B, C y D que es tangente a la isocuenta unitaria en el punto C. Aunque las unidades A y C son eficientes técnicamente, solamente la unidad C es eficiente también desde el punto de vista asignativo, ya que el punto A indica un mayor costo de utilización de factores y su medida de ineficiencia está representado por el segmento A''A (Coll & Blasco, 2006; Pardo Sempere, 2001).

Figura 1-2: Eficiencia Asignativa (Unidad Isocoste)



Fuente: Coll y Blasco (2006).

La medida de eficiencia asignativa para la unidad A puede obtenerse a partir de la razón entre OA'' y OA (ver Ecuación (1-2)). Valores inferiores a 1 indican que existen ineficiencias asignativas.

$$EA_A = \frac{OA''}{OA} \quad (1-2)$$

La eficiencia global de la unidad de producción D se obtiene mediante la combinación de la eficiencia técnica y asignativa (ver Ecuación (1-3)), siendo equivalente al producto de estas razones (Pardo Sempere, 2001). La unidad evaluada debe primero alcanzar la eficiencia técnica para posteriormente ser eficiente en la asignación de recursos y finalmente lograr un nivel de eficiencia global (Farrell, 1957; Coelli, 1995; Coelli et al., 2005).

$$EG_D = \frac{OD''}{OD} \quad (1-3)$$

La eficiencia global comprende valores entre 0 y 1, donde un valor igual a 1 indica que la unidad analizada presenta una eficiencia técnica y asignativa por lo que es globalmente eficiente (unidad C en la Figura 1-2) (Coelli et al., 2005).

1.4.3 Eficiencia de escala

La eficiencia de escala se refiere a la escala de producción de una empresa u organización, la cual será eficiente si opera en una escala de tamaño óptima. De esta forma, puede obtener una mayor productividad explotando las economías de escala ya que podrá aprovechar sus ventajas de especialización en términos de mano de obra y acceder a economías técnicas. En economía, el tamaño de producción se refiere al volumen para el que el costo medio a largo plazo es mínimo (Pardo Sempere, 2001; Färe, Grosskopf & Lovell, 1985).

Una unidad de producción puede ser eficiente técnicamente y no operar en una escala óptima, por lo que es importante identificar si se ubica en la región de la curva de rendimientos crecientes (IRS) o decrecientes a escala (DRS). Los IRS indican que la unidad evaluada es demasiado pequeña para su escala de operación, mientras que los DRS muestran que es demasiado grande para el volumen de actividades que realiza (Coelli, 1995; Forsund, Lovell, & Schmidt, 1980; Ramilan, Scrimgeour, & Marsh, 2011; Álvarez, 2013).

Las ineficiencias o deseconomías de escala pueden asociarse con la capacidad limitada para gestionar la empresa a medida que crece y en el sector agropecuario, la indivisibilidad de los factores productivos puede ocasionar ineficiencias. Generalmente, el incremento de la productividad en el corto plazo se debe a un cambio técnico por ejemplo al incorporar una nueva máquina o al aprovechamiento de las economías de escala (Coelli et al., 2005; Pardo Sempere, 2001).

1.5 Medición de la eficiencia

En el proceso de medición del desempeño, la definición de la unidad objeto de evaluación, denominada unidad de toma de decisiones (DMU) y la identificación de los *inputs* y *outputs* involucrados en el proceso de producción son factores fundamentales para obtener un análisis preciso. La DMU se conoce como aquella que utiliza un conjunto de insumos que se transforman por medio de actividades en productos y que tiene control sobre su proceso de producción. Es importante que estas unidades sean homogéneas en el sentido de que utilicen los mismos recursos para obtener los mismos resultados, aunque en cantidades variables. Las entradas incluidas en el análisis deben ser todas aquellas que tengan impacto sobre las salidas, y estas últimas deben reflejar todos los resultados útiles (técnicos, económicos y/o ambientales) que reflejan el desempeño de la unidad evaluada (Cooper, Seiford, Tone, & Zhu, 2007; Thanassoulis, 2001).

La estimación de la eficiencia puede realizarse hacia dos orientaciones básicas: *output* e *input*. La primera busca maximizar la cantidad de producto obtenido a partir del nivel actual de utilización de *inputs*. Por el contrario, la orientación hacia el *input* tiene como objetivo minimizar su utilización mientras se mantiene la cantidad actual de *outputs*. Lo anterior permaneciendo en la frontera de posibilidades de producción que representa los valores límites alcanzables y se construye a partir de una muestra de unidades o de la totalidad que puedan existir y que incorporen la tecnología actual. La eficiencia de una unidad de producción se estima respecto a esta frontera comparando su desempeño real con respecto a un óptimo proyectado para el proceso evaluado. En la Figura 1-3 se muestra la frontera de producción para cuatro empresas (A, A1, A2 y A3), donde el punto A representa una unidad ineficiente. La flecha con dirección vertical desde A hasta A2 mide la ineficiencia bajo una orientación *output*, por lo que a partir del nivel actual del *input* x, un mayor nivel de *output* puede ser obtenido en el punto A2. La flecha con dirección horizontal desde A hasta A1 mide la ineficiencia con una orientación *input*, por lo que el nivel de *output* en el punto A puede ser obtenido usando una menor cantidad de *inputs* en el punto A1 (Forsund et al., 1980; Charnes et al., 1978; Thanassoulis, 2001; Coelli et al., 2005; Coll & Blasco, 2006; Rouse, Harrison, & Chen, 2010; Bogetoft & Otto, 2011; Angón, 2013).

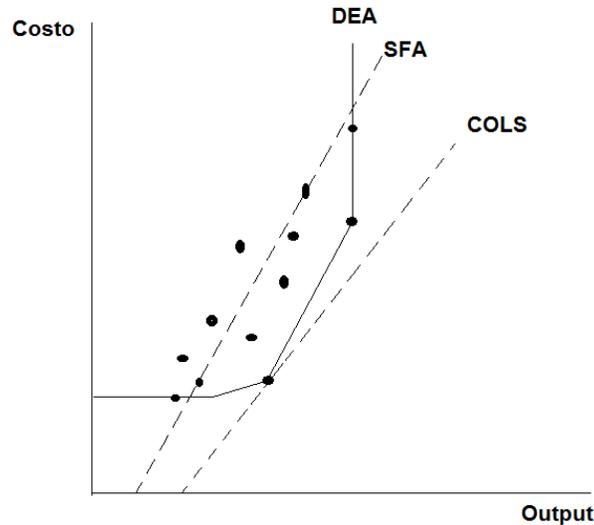
método de frontera estocástica (SFA) se basa en la estimación econométrica de una función de producción cuyos parámetros se estiman a partir de los datos y asume que las desviaciones de la muestra respecto a la frontera pueden ser atribuidas tanto a la ineficiencia técnica como a un error aleatorio (factores fuera del control de la empresa) por lo que pueden existir unidades de producción situadas por encima de la frontera eficiente (Pardo Sempere, 2001). Esta metodología requiere que la función de producción, el error estocástico y la ineficiencia sean especificados previamente a la estimación de la eficiencia técnica (Lovell, 1993; Jaforullah & Whiteman, 1999; Thanassoulis, 2001; Coelli et al., 2005). Por el contrario, el DEA utiliza técnicas de programación lineal para construir una frontera eficiente determinista a partir de las mejores observaciones de la muestra envolviendo a la totalidad de ellas, razón por la cual se conoce como la frontera de las mejores prácticas (Charnes et al., 1978; Coelli et al., 2005; Latruffe, Fogarasi, & Desjeux, 2012).

Tabla 1-2: Clasificación de los métodos de estimación de frontera

	Determinístico	Estocástico
Paramétrico	Mínimos cuadrados ordinarios corregidos (COLS)	Análisis de frontera estocástica (SFA)
No paramétrico	Análisis envolvente de datos (DEA)	Análisis envolvente de datos estocástico (SDEA)

Fuente: Bogetoft y Otto (2011).

Un aspecto clave en la elección entre la metodología SFA o DEA para estimar la frontera de producción se relaciona con preferir flexibilidad en la estructura de medida o precisión en la separación del ruido. Una propiedad importante de un enfoque de benchmarking es su habilidad para reflejar y respetar las características de las unidades evaluadas, por lo que se requiere un modelo flexible cuya forma se adapte a los datos, por lo que los modelos no paramétricos son superiores en términos de flexibilidad respecto a los paramétricos. Sin embargo, estos últimos permiten manejar el ruido en los datos ya que no son demasiado sensibles frente a variaciones aleatorias (Figura 1-4) (Bogetoft & Otto, 2011).

Figura 1-4: Fronteras alternativas

Fuente: Bogetoft y Otto (2011).

Una vez estimada la frontera de producción, existen dos índices que se pueden utilizar para calcular la eficiencia: uno que relaciona el *output* obtenido por cada unidad de producción con lo proyectado por la frontera (orientación *output*) (Timmer, 1971); y uno que corresponde a la relación entre el consumo actual de recursos con el nivel de utilización estimado por la frontera para un nivel dado de producto (orientación *input*) (Kopp, 1981; Pardo Sempere, 2001). Cuando la función de producción presenta rendimientos constantes a escala, las medidas de eficiencia obtenidas con estos dos índices son equivalente (Coll & Blasco, 2006; Rouse et al., 2010).

1.6 Análisis envolvente de datos (DEA)

En contraste con los índices convencionales utilizados para medir el desempeño, la aproximación no paramétrica, representada por el método del análisis envolvente de datos (DEA), incorpora en un solo modelo todos los factores relevantes del proceso de producción, clasificados como entradas y salidas. En este sentido, la evaluación no está sesgada ya que no se da preferencia a un solo factor sobre otro (El-Mahgary & Lahdelma, 1995). El DEA identifica el conjunto de procesos de producción que son factibles de acuerdo con la tecnología existente y por lo tanto no requiere la especificación de una forma funcional de la frontera, siendo esta una de sus principales ventajas respecto a los

métodos paramétricos. Para las unidades de producción que se están evaluando, este conjunto se construye a partir de las correspondencias observadas de *input-output*, estimando la frontera como una envolvente a los datos donde la mejor práctica representa una combinación de las mejores prácticas de una o más DMU, determinándose para cada una el nivel de eficiencia relativa como resultado de la comparación de su desempeño con la frontera eficiente, la cual se considera como un estándar empírico de excelencia (Elyasiani & Mehdián, 1993; Thanassoulis, 2001; González, 2013). Cuando se realiza una comparación de la eficiencia, se debe asegurar que la tecnología de producción es homogénea para todas las DMU, de lo contrario, las diferencias en los niveles de eficiencias pueden ser debido a la tecnología y no a la combinación de *inputs* utilizada (Stokes et al., 2007).

Esta metodología presenta ventajas asociadas con su flexibilidad en el sentido de que impone condiciones menos restrictivas sobre la tecnología de referencia, se adapta a contextos multiproducto y de ausencia de precios evitando posibles sesgos de agregación que podrían surgir al usar fronteras estocásticas, permite desagregar la medida de eficiencia técnica global en sus tres componentes: técnica, asignativa y de escala, suministra información de unidades eficientes con similares combinaciones de *inputs* y *outputs*, define porcentajes de mejora en el consumo de *inputs* o en la obtención de *outputs*, las entradas y salidas se pueden medir en diferentes unidades e incluir variables continuas y discretas y permite establecer grupos eficientes de referencia (benchmark) con los cuales una DMU ineficiente puede comparar su desempeño y establecer un plan de mejora, razón por la cual es una técnica con gran aplicabilidad para realizar procesos de benchmarking (Angón, 2013; Coll & Blasco, 2006; González, 2013; Heidari, Omid, & Akram, 2011; Jaforullah & Whiteman, 1999; Latruffe et al., 2012; Norman & Stoker, 1991; Schulte et al., 2018; Thanassoulis, 2001).

Respecto a sus limitantes, los resultados obtenidos por medio del DEA son muy sensibles a la presencia de valores atípicos por lo que es importante realizar una depuración de la información previamente al análisis. Además, en la literatura se ha utilizado el método estadístico propuesto por Wilson (1993) para la detección de valores atípicos desarrollado específicamente para el enfoque DEA, el cual se basa en la comparación de volúmenes geométricos distribuidos por subconjuntos de datos. Una desventaja adicional es que los resultados pueden verse afectados por la variación del muestreo. Debido a que la frontera de producción es construida con las DMU que presentan el mejor desempeño en la

muestra, si existieran unidades con un mejor desempeño en la población y se incluyeran en el análisis, la frontera eficiente podría expandirse por lo que las DMU de la muestra se encontrarían más alejadas de la frontera y serían menos eficientes. Por lo tanto, el DEA puede sobreestimar los puntajes de eficiencia (Latruffe et al., 2012). Con el fin de corregir esta limitante, Simar y Wilson (1998, 2000) desarrollaron un método basado en bootstrapping que consiste en volver a muestrear los puntajes de eficiencia originales y aplicar DEA en un pseudo-conjunto de datos, posteriormente se utilizan las estimaciones obtenidas para los parámetros que se quieren analizar (Urdaneta et al., 2010). Finalmente, al estimar fronteras de tipo determinístico, las desviaciones respecto a esta son atribuidas a ineficiencias, confundiéndose con los factores aleatorios que pudieran afectar al proceso de producción (Jaforullah & Whiteman, 1999; Latruffe et al., 2012; Coelli & Perelman, 1999).

Desde su desarrollo, esta metodología ha tenido gran aplicabilidad en el sector bancario, salud, agricultura, ganadería, transporte y educación, con aproximadamente el 50% de las publicaciones dirigidas a estas industrias. En la última década, se ha observado un crecimiento de las investigaciones hacia la estimación de la eficiencia en la utilización de la energía y el medio ambiente, así como en finanzas (Liu, Lu, Lu, & Lin, 2013).

1.6.1 Representación de la tecnología de producción.

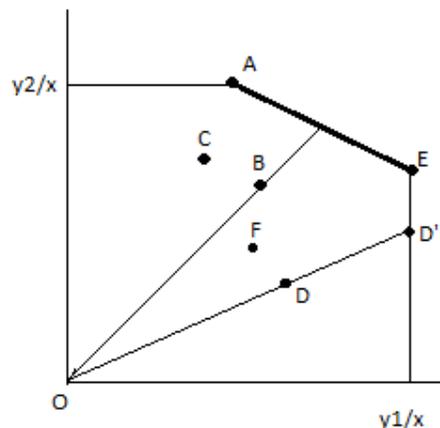
La estimación del nivel de eficiencia técnica de una DMU requiere conocer la tecnología con la que opera (González Fidalgo, Álvarez Pinilla, & Arias Sampedro, 1996). Esta tecnología puede caracterizarse mediante el conjunto de posibilidades de producción (CPP) que se define como el conjunto de procesos productivos que son tecnológicamente factibles en la práctica y que son representados matemáticamente mediante la relación entre los *inputs* utilizados y los *outputs* obtenidos. Es importante no confundir el concepto de CPP con el de frontera eficiente, ya que este se obtiene dibujando una línea quebrada que una todas las unidades eficientes (A y E) y prolongándola de forma paralela a los ejes x y y, definiendo el límite entre los niveles de producción alcanzables e inalcanzables (Figura 1-5) (Coelli et al., 2005; Coll & Blasco, 2006; González, 2013).

En el planteamiento de Farrell (1957) se imponen las siguientes propiedades sobre el conjunto de posibilidades de producción (Pardo Sempere, 2001):

- Rendimientos de escala constantes (CRS): el CPP está compuesto por todas las combinaciones lineales de los procesos productivos observados.
- Rendimientos de escala variables (VRS): el CPP está compuesto por los procesos productivos observados y por las combinaciones lineales convexas que los delimitan.
- Eliminación gratuita de *inputs* y *outputs*: una DMU puede producir igual cantidad de output con una cantidad mayor de inputs o menos cantidad de output con el mismo uso de inputs. Esto se conoce como congestión y se produce cuando la isocuenta eficiente se dobla hacia atrás, indicando el punto a partir de cual al incrementar uno de los inputs la producción disminuye (González Fidalgo et al., 1996).

La medición de la eficiencia por medio del DEA involucra la construcción del conjunto de posibilidades de producción y la estimación de la expansión radial máxima factible del output o la disminución máxima de los niveles de inputs dentro del conjunto de posibilidades de producción (Thanassoulis, 2001; Coll & Blasco, 2006).

Figura 1-5: Frontera eficiente y conjunto de posibilidades de producción



Fuente: Coll & Blasco (2006).

1.6.2 Programación lineal

La base de la metodología DEA es la programación lineal que involucra problemas de optimización (maximizar o minimizar) de una determinada función lineal, cumpliendo ciertas relaciones, también lineales, sujetas a unas limitaciones (Pardo Sempere, 2001). De esta forma, se determina la solución óptima dentro de un conjunto infinito de soluciones

disponibles en un contexto de toma de decisiones (Banker et al., 1984; Zhu, 2003; Cooper et al., 2007; Vásquez, Iribarren, Moreira, & Feijoo, 2010; Bogetoft & Otto, 2011; Angón, 2013). Este análisis matemático se ajusta adecuadamente a problemas relacionados con actividades del sector agropecuario, ya que permite realizar una planificación de la producción en términos de la asignación y distribución de los medios y recursos disponibles hallando una combinación que optimice una determinada función lineal con el fin de que el proceso de transformación sea eficiente y se cumplan los objetivos propuestos por el productor (Glen 1996; Lara & Stancu-Minasian, 1999).

En los modelos matemáticos de programación lineal existe el concepto de dualidad, es decir, cada problema de maximización puede ser asociado con otro simétrico de minimización y viceversa. El problema original se denomina primal y a su simétrico dual, con las siguientes correspondencias (Tabla 1-3):

Tabla 1-3: Modelo matemático primal y dual

PRIMAL	DUAL
Maximizar (Minimizar)	Minimizar (Maximizar)
Coefficientes función objetivo	Límites de las restricciones
Límites de las restricciones	Coefficientes función objetivo
Variables	Restricciones
Restricciones	Variables
Matriz (n*m) de coeficientes técnicos del sistema primal	Matriz traspuesta A de (m*n) elementos
Sentido inecuación \geq (\leq)	Sentido inecuación \leq (\geq)

Fuente: Pardo Sempere, 2001

En la práctica, la forma dual (envolvente) es preferida sobre la primal (multiplicativa) debido a que se requiere un mayor esfuerzo computacional para solucionar el problema primal ya que este crece en proporción al número de restricciones. En el DEA, el número de DMU (n) debe ser considerablemente mayor que la suma del número de *inputs* y *outputs* incluidos en el análisis (m + s) y la resolución del problema dual tomará menos tiempo en comparación con la forma primal del modelo (Quesada, Blanco, & Maza, 2010).

1.6.3 Modelo de rendimientos constantes a escala (CRS)

Este modelo DEA, denominado CCR, puede ser utilizado cuando se asume que las DMU evaluadas presentan rendimientos constantes a escala, es decir, se encuentran operando en una escala óptima. De esta forma, una DMU es comparada con aquellas unidades que son más pequeñas o grandes que esta. La estimación de la frontera se puede realizar en las dos orientaciones básicas, buscando la máxima reducción equiproporcional en todos los inputs sin reducir la obtención del output (orientación input) o la maximización de las salidas sin incrementar la utilización de las entradas (orientación output). Considerando m inputs (x) diferentes para producir t outputs (y) diferentes para cada DMU j , cada una representada por el vector X_j y Y_j , siendo $j = 1, 2, N$. La matriz de inputs ($m \times N$) y la matriz de outputs ($t \times N$), donde se asume que $x_{ij} \geq 0$ y $y_{ij} \geq 0$, representan los datos de todas las DMU ($j = N$). Para cada DMU j se hallará una medida del ratio de eficiencia de todos los inputs y outputs, $u_r y_{rj} / v_i x_{ij}$, donde u_r es un vector de variables ($t \times 1$) de la matriz de coeficientes de outputs ($r = 1, 2, \dots, t$) y v_i un vector de variables ($m \times 1$) de la matriz de coeficientes de inputs ($i = 1, 2, \dots, m$). El modelo dual orientado a los insumos para el cálculo de la eficiencia relativa se expresa de la siguiente manera (Ver Ecuación (1-4))(Arzubi & Berbel, 2002a; Coelli et al., 2005; Pardo Sempere, 2001):

$$\begin{aligned} & \min_{\theta_j, \lambda} \theta_j \\ & \text{Sujeto a:} \\ & -y_{rj} + Y\lambda \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, t \\ & \theta_j x_{ij} - X\lambda \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned} \tag{1-4}$$

Donde θ_j es un escalar que multiplica al vector de inputs, y_{rj} es el vector de coeficientes output de la DMU j , Y es una matriz de dimensión que recoge las cantidades de outputs que producen todas las DMU, x_{ij} es el vector de coeficientes input de la DMU j y X es la matriz de coeficientes input de todas las DMU. λ es un vector de constantes $N \times 1$ (vector de intensidad) que multiplica a la matriz de inputs y outputs de manera que $X\lambda$ representa una combinación lineal de los vectores de inputs utilizados por las N DMU y $Y\lambda$ es la combinación lineal de los vectores de outputs que se obtiene con ese vector de intensidad.

El modelo de programación lineal se ejecuta para cada DMU en la muestra buscando la mínima proporción de θ_j a la que se puede reducir el vector de inputs x_{ij} sin cambiar el nivel de producción en y_{rj} (Angón, 2013; Arzubi & Berbel, 2002a; Coelli et al., 2005; Pardo Sempere, 2001). De acuerdo con la definición de eficiencia de Farrell (1957), si $\theta_j = 1$, la DMU evaluada será eficiente.

El modelo dual con una orientación output se expresa de la siguiente manera (ver Ecuación (1-5)) (Pardo Sempere, 2001):

$$\begin{aligned} & \max_{\phi_1} \phi \\ & \text{Sujeto a:} \\ & x_{i1} - \sum_{j=1}^N x_{ij} \lambda \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & -\phi_1 y_{r1} + \sum_{j=1}^N y_{rj} \lambda \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, t \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned} \tag{1-5}$$

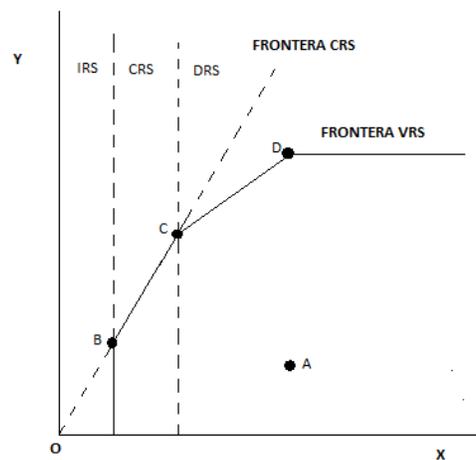
Donde ϕ representa el incremento proporcional de producto que podría obtenerse manteniendo la utilización actual de inputs. La eficiencia de Farrell sería igual a $\phi' = 1/\phi$ (Angón, 2013; Arzubi & Berbel, 2002a; Coelli, 1996).

1.6.4 Modelo de rendimientos variables a escala (VRS)

El modelo de rendimientos variables a escala, denominado BCC, es una extensión del modelo descrito previamente y permite que los rendimientos de escala que caracterizan la tecnología de producción sean variables (VRS), debido a que, si las unidades de producción no operan en la misma escala, asumir rendimientos constantes no permitirá distinguir entre una ineficiencia técnica pura y una ineficiencia derivada de no operar en la escala óptima. Su principal ventaja es que las unidades productivas con ineficiencias de escala se comparan únicamente con aquellas unidades eficientes de tamaño similar. Se recomienda asumir este modelo cuando no se tiene certeza de la tecnología que caracteriza el proceso de producción evaluado (Banker et al., 1984; Banker & Thrall, 1992; Barnes, 2006; Quesada et al., 2010; Tran, Mao, Nathanail, Siebers, & Robinson, 2019).

Asumir VRS permite determinar si las operaciones se realizan en regiones de rendimientos crecientes (IRS), constantes (CRS) o decrecientes a escala (DRS) dentro de la frontera de producción (Figura 1-6). La frontera VRS envuelve más estrechamente las observaciones que la CRS, por lo tanto, las unidades que son ineficientes bajo este último pueden presentar puntajes de eficiencia técnica más altos en la frontera de rendimientos variables a escala. Además, la construcción del CPP es un subconjunto del conjunto de posibilidades de producción bajo rendimientos constantes (Coll & Blasco, 2006; González, 2013; Rouse et al., 2010).

Figura 1-6: Frontera CRS y VRS



Fuente: Rouse et al. (2010), González (2019).

El modelo BCC modifica el programa lineal del CCR mediante la incorporación de una restricción de convexidad: $\sum_{j=1}^N \lambda = 1$. Por lo tanto, el punto proyectado sobre la frontera es una combinación convexa de las DMU observadas. Para una orientación input, el modelo dual se escribe de la siguiente manera (Ver Ecuación (1-6)) (Angón, 2013; Arzubi & Berbel, 2002a; Coelli, 1996; Pardo Sempere, 2001):

$$\begin{aligned} & \min_{\theta, \lambda} \theta_j \\ & \text{Sujeto a:} \\ & -y_{rj} + Y\lambda \geq 0 \\ & \theta x_{rj} - X\lambda \geq 0 \end{aligned} \tag{1-6}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda = 1$$

$$\lambda \geq 0$$

$$r = 1, 2, \dots, t$$

Cuando se considera una orientación output, el modelo dual se expresa así (ver Ecuación (1-7)):

$$\max_{\phi_1} \phi$$

Sujeto a:

$$x_{i1} - \sum_{j=1}^N x_{ij} \lambda \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$-\phi_1 y_{r1} + \sum_{j=1}^N y_{rj} \lambda \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, t \quad (1-7)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda = 1$$

$$\lambda \geq 0$$

En este modelo la medida de eficiencia técnica global coincide con el puntaje estimado bajo CRS y la medida de eficiencia técnica pura con VRS.

Eficiencia de escala

El modelo BCC permite descomponer la medida eficiencia técnica global (ET_{CRS}) en sus dos componentes: la eficiencia técnica derivada de óptimas prácticas de gestión, denominada eficiencia técnica pura (ET_{VRS}) y la eficiencia técnica asociada a una escala de producción óptima o subóptima, llamada eficiencia de escala (EE) y calculada como el residuo entre ET_{CRS} y ET_{VRS} (Latruffe et al., 2012). Por lo tanto, es necesario calcular la eficiencia bajo los dos modelos descritos con el fin de evidenciar si existen ineficiencias de escala.

Para conocer si una DMU ineficiente en escala opera en el área de rendimientos crecientes (IRS) o decrecientes (DRS) a escala se debe resolver un problema adicional sustituyendo la expresión $\sum_{j=1}^N \lambda = 1$ por $\sum_{j=1}^N \lambda \leq 1$ incorporando la restricción de rendimientos a escala no crecientes (NIRS), así (ver Ecuación (1-8))(Angón, 2013; Arzubi & Berbel, 2002a; Coelli, 1996).

$$\begin{aligned}
 & \min_{\theta_j, \lambda_j} \theta_j \\
 & \text{Sujeto a:} \\
 & -y_{rj} + Y\lambda_j \geq 0 \\
 & \theta x_{rj} - X\lambda_j \geq 0 \\
 & \sum_{j=1}^N \lambda = 1 \\
 & \lambda_j \geq 0
 \end{aligned} \tag{1-8}$$

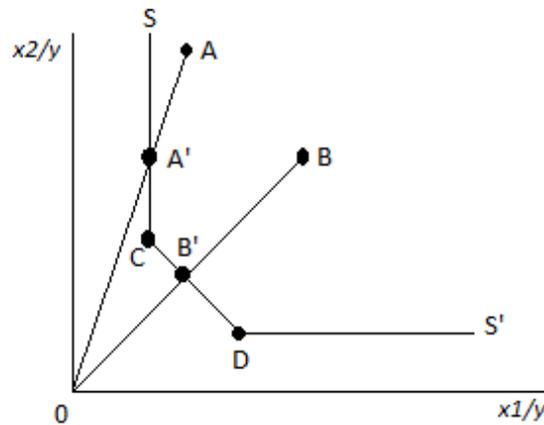
Para una DMU en particular, si el valor de la eficiencia técnica NIRS es igual al valor de la eficiencia técnica con VRS, la unidad evaluada se encontrará operando en el sector de rendimientos decrecientes a escala (DRS), por el contrario, si son diferentes, se presentarán rendimientos crecientes a escala (IRS) (Angón, 2013; Arzubi & Berbel, 2002a; Coelli, 1996).

1.6.5 Slacks: eficiencia de Pareto Koopmans

En el DEA, la construcción de la frontera no paramétrica se realiza por medio de piezas lineales por lo que existen segmentos paralelos a los ejes de coordenadas que pueden causar algunas dificultades en la medida de la eficiencia (Pardo Sempere, 2001). En la Figura 1-7 se observa un modelo orientado al *input*, donde las DMU C y D son consideradas eficientes y configuran la frontera de producción, mientras que A y B representan unidades de producción ineficientes. Considerando la medida de eficiencia de Farrell (1957), para A y B se expresa como la relación OA'/OA y OB'/OB , respectivamente. Esta distancia se conoce como ineficiencia radial del input o el exceso en su utilización (Coelli, 1996; Coll & Blasco, 2006).

Al observar el punto A' , es necesario precisar si es realmente eficiente debido a que podría reducir el consumo del *input* X_2 , representado por el segmento CA' y obtener la misma cantidad de *output*. Esta distancia se denomina holgura o slack en las entradas de la unidad A y se aplica también a las salidas cuando un proceso de producción involucra múltiples productos. Esta distancia se incluye en la medida de eficiencia técnica de Pareto Koopmans, concepto que considera simultáneamente la medida de eficiencia de Farrell y la condición de valores igual a 0 en las holguras (*input* y *output*), es decir, $Y\lambda - y_i = 0$ y $\theta x_i - X\lambda = 0$ con el fin de obtener índices de eficiencia más precisos (Koopmans, 1951; Coelli, 1996).

Figura 1-7: Estimación de holguras



Fuente: Coelli (1996).

Para realizar la medición de la eficiencia y la estimación de las holguras planteadas en el concepto de Pareto, los programas computacionales pueden desarrollar las siguientes etapas para resolver el problema de programación lineal (Ali & Seiford, 1993; Coelli, 1996; Coll & Blasco, 2006):

- Una sola etapa: las variables de holgura s^+ (*output*) y s^- (*input*) son obtenidas de forma residual. Por lo tanto, es posible que no se cumpla la condición de eficiencia de Pareto Koopmans, la cual es más restrictiva que la eficiencia de Farrell.
- Dos etapas: maximiza la suma de las holguras requerido para mover radialmente el punto proyectado en la etapa 1 (eficiencia de Farrell), a un punto sobre la frontera eficiente que satisface la condición óptima de Pareto. Sin embargo, debido a que

la suma de cuadrados de las holguras es maximizada se identificará el punto eficiente más lejano a las observaciones. Además, esta aproximación puede cambiar con la unidad de medida de los factores.

- **Multietápico:** para solucionar los inconvenientes inherentes a la resolución del problema en una y dos etapas, Coelli (1996) sugirió un método multietápico en el que se identifican los puntos proyectados eficientes que se caracterizan por tener mezclas de entradas y salidas que son lo más similares posibles a las de los puntos ineficientes, midiendo a la vez las holguras.

1.6.6 Benchmark: Unidades pares

El análisis de eficiencia mediante la metodología DEA permite establecer al menos una unidad real de referencia, denominada también como unidad par (*peer*), para cada unidad ineficiente por lo que se considera como una herramienta de gran aplicabilidad para realizar procesos de benchmarking con el fin de mejorar el desempeño y competitividad de las fincas a través de la identificación de las unidades eficientes dentro de una muestra para determinar cuáles son las mejores prácticas en el proceso productivo para ser emuladas en aquellas DMU con un comportamiento inferior (Fraser & Cordina, 1999). Las unidades con pesos positivos conforman el grupo referencial para las DMU ineficientes, las cuales operan en un nivel de escala similar en cuanto a la combinación de inputs. El número de unidades posibles con las cuales se puede realizar la comparación del desempeño es igual al número de inputs más el número de *outputs* incluidos en el análisis, razón por la cual, un mayor número de factores llevará a obtener un mayor número de unidades referenciales eficientes. Además, el DEA calcula, en términos porcentuales, la contribución que realiza cada *peer* dentro del conjunto de referencia a los objetivos proyectados por la frontera de producción para cada unidad ineficiente (Bogetoft & Otto, 2011; Jaforullah & Whiteman, 1999).

En la Figura 1-7, para la unidad ineficiente B, el punto óptimo proyectado en la frontera corresponde a B', el cual se sitúa entre las unidades eficientes C y D por lo que se consideran como las unidades pares (*benchmark*) para la empresa B. El punto B' es una combinación lineal de sus pares, donde la unidad eficiente de mayor peso, es decir, aquella situada a una menor distancia de B, será la unidad de referencia más adecuada para investigar sus prácticas de producción y mejorar la eficiencia de B (Pardo Sempere, 2001).

La comparación con fincas referenciales es un aspecto relevante de la aplicación de esta metodología, ya que constituyen el benchmark para las DMU ineficientes con el respectivo análisis de las holguras. Además, en los programas de planificación a nivel regional, se constituyen como “modelos reales a seguir” para mejorar la eficiencia de las unidades de producción, en conjunto con el desarrollo de procesos de benchmarking (Arzubi, 2003).

1.7 Análisis de Benchmarking

El benchmarking es una herramienta ampliamente utilizada por las empresas constituyéndose como un proceso continuo y sistemático enfocado en el análisis de las variables físico-técnicas empleadas por un productor reconocido por tener las mejores prácticas en una determinada actividad agropecuaria, las cuales corresponden a los métodos aplicados en los procesos de producción que permiten satisfacer objetivamente las demandas del mercado (Cross & Iqbal, 2001). De esta forma se compara el desempeño de las unidades de producción, preferiblemente de aquellas que transforman el mismo tipo de recursos, en productos y servicios similares. El benchmarking puede ser utilizado para realizar comparaciones intra e inter organizacionales así como también longitudinales, de panel o dinámicas donde se compara el desempeño de una o más empresas en diferentes periodos de tiempo (Bogetoft & Otto, 2011).

La información obtenida es utilizada para la toma de decisiones de tipo estratégico, táctico y operativo con el fin de mejorar el desempeño de las fincas, establecer metas y objetivos eficaces, optimizar el uso de recursos, identificar las oportunidades de mejora, establecer las fortalezas y debilidades frente a los competidores y promover sus ventajas competitivas (Ronan & Cleary, 2000; Stapenhurst, 2009; Téllez & Cubillos, 2003; Uddin, Sultana, Bruermer, & Peters, 2012; Von Keyserlingk, Barrientos, Ito, Galo, & Weary, 2012). De esta forma, el benchmarking es reconocido como una herramienta esencial para el mejoramiento continuo de la calidad en cualquier proceso de producción y su vinculación al mercado, donde uno de los factores claves para su éxito se basa en la elección del benchmark o finca referencial con la cual se realizará la evaluación comparativa (Lau, Lau, Fung, Chan, & Ip, 2005).

El desarrollo de estudios de benchmarking se debe realizar teniendo en cuenta los siguientes aspectos: la aplicación se basa en la premisa de aprender y mejorar; debe ser un proceso estructurado y participativo; es necesario evaluar cómo se realizan los

procesos de producción debido a que son el elemento clave en la comparación para aprender de las organizaciones con un alto nivel de desempeño; se debe tener una visión externa y no limitarse a la comparación con organizaciones dentro de la misma industria y la mejora del desempeño implica la innovación en prácticas de producción, procesos, productos, cultura de trabajo y la utilización de herramientas de gestión (Téllez & Cubillos, 2003).

Los estudios de benchmarking pueden ser desarrollados bajo dos enfoques principales: el agente de estudio (¿Con quién comparar?) y/o el objeto de estudio (¿Qué comparar?) (Passos & Haddad, 2013). En la Tabla 1-4 se observa la clasificación realizada por diversos autores de acuerdo con los enfoques mencionados (Carpinetti & De Melo, 2002; Passos & Haddad, 2013; Téllez & Cubillos, 2003), destacándose aquellos que permiten obtener resultados óptimos en los procesos de comparación, sobresaliendo el competitivo y colaborativo en el análisis del desempeño; en el análisis de procesos el colaborativo, funcional y genérico; y en el análisis de productos y estratégico el benchmarking de tipo competitivo.

Tabla 1-4. Valoración de los tipos benchmarking de acuerdo con el objeto y agente de estudio.

OBJETO DE ESTUDIO	AGENTE DE ESTUDIO				
	INTERNO	COMPETITIVO	COLABORATIVO	FUNCIONAL	GENÉRICO
Desempeño	Medio	Alto	Alto	Medio	Bajo
Procesos	Medio	Bajo	Alto	Alto	Alto
Productos	Medio	Alto	Medio	Medio	Bajo
Estratégico	Medio	Alto	Bajo	Bajo	Bajo

Fuente: Adaptado de Bhutta y Huq (1999).

De manera general, el benchmarking establece y cuantifica las diferencias que existen entre la situación actual de las fincas y la mejor práctica identificada (benchmark), se establecen los objetivos y se formulan las estrategias dirigidas a reducir los marginales en el corto, mediano o largo plazo, se realiza la medición del avance durante el proceso y finalmente se promueve la cultura del mejoramiento continuo (Téllez & Cubillos, 2003).

La aplicación de procesos de benchmarking requiere la estimación de diferentes aspectos de la producción. Por lo tanto se basa en el uso de indicadores clave de desempeño (KPIs), que constituyen la relación de una salida vs una entrada y miden la productividad de una fuente específica en unidades físicas (Bogetoft, 2013). Estos indicadores son incluidos en

el análisis DEA de la eficiencia, utilizando en sistemas de producción de leche y doble propósito indicadores tales como el intervalo entre partos, la tasa de natalidad, la producción de litros de leche por hectárea, la ganancia de peso de la cría, entre otros. Atendiendo las demandas del mercado se pueden utilizar indicadores como la cantidad de sólidos totales en la leche y las unidades formadoras de colonias, mientras que en términos económicos existen indicadores como los ingresos netos y los costos de producción por vaca.

1.8 Investigaciones en el sector lechero bovino relacionadas con la metodología DEA

La aplicación de métodos para evaluar el comportamiento de los sistemas de producción bovina y la evaluación de la eficiencia en la producción de carne y leche se han orientado al uso del análisis envolvente de datos (DEA) que permite crear procesos de optimización basados en el concepto de benchmarking. Como se ha señalado previamente, la producción de leche afrontar nuevos retos cotidianos asociados a las nuevas regulaciones, la vinculación de innovaciones tecnológicas y un proceso de mejora continua de la calidad del producto.

Desde la publicación del método hace 40 años, la aplicación de la metodología DEA en contextos reales de producción ha tenido un crecimiento considerable sectorial (Liu et al., 2013). La búsqueda de la eficiencia ha propiciado el desarrollo de investigaciones empleando métodos no paramétricos, principalmente aplicados a sistemas de producción de leche especializada en varias geografías alrededor del mundo (Tabla 1-5), estimándose índices de eficiencia técnica empleando modelos DEA -BCC y CCR, en sus dos orientaciones básicas.

En Argentina se condujo una investigación en 21 sistemas de lechería, estimando niveles de eficiencia global conjunta de 83.32% y de 87.4% para los años 1997/1998 y 1999/2000, respectivamente, lo cual indicó un ligero incremento de los índices en el segundo periodo de tiempo valorado, año en el cual la cantidad de unidades productivas eficientes se duplicaron, lo cual se asoció con el aumento de los puntajes de eficiencia de escala (94.3% vs 89.3%). Por su parte, el análisis del avance técnico permitió identificar particularidades

que permiten distinguir entre las unidades competitivas e inadaptadas, de acuerdo con el cambio en los índices de eficiencia para los periodos analizados. Se evidenció que las variaciones se asociaron principalmente con el incremento en la carga de animales, el nivel de producción, la productividad por hectárea, la ejecución de estrategias innovadoras de alimentación, un incremento de la rentabilidad, superior inversión en alimentación y una mayor retribución económica de los empleados (Arzubi & Berbel, 2002a).

En Grecia, se utilizó la metodología DEA para evaluar la eficiencia de fincas de producción de leche mediante dos modelos: CRS y VRS, ambos con una orientación output (producción de leche), con niveles constantes en la utilización de inputs (valor nutricional del alimento, horas de trabajo humano, valor del ganado y capital promedio invertido). La eficiencia media fue de 82.73%, con un valor mínimo de 22.09% y máximo de 100%, donde el 87.2% de las fincas en la muestra fueron ineficientes. Por lo tanto, se concluyó que con el nivel actual en la utilización de inputs las fincas pueden aumentar su producción y mejorar su competitividad (Siafakas, Tsiplakou, Kotsarinis, Tsiboukas, & Zervas, 2019).

En Nueva York, Thomas & Tauer (1994) evaluaron la eficiencia técnica de 125 unidades de producción de leche incluyendo un número variable de inputs (1, 8, 14 y 28 inputs), demostrando que los índices de eficiencia técnica varían según la cantidad de factores. De esta forma, al utilizar un mayor número de inputs (28), el 99.2% de las fincas fueron eficientes.

Se ha analizado también la eficiencia técnica, asignativa y de escala de 133 ganaderías de leche en Asturias, España, utilizando como output la producción de leche y como inputs el uso de mano de obra, la superficie agrícola, el número de animales y la cantidad de alimento consumido. Se obtuvo un índice promedio de eficiencia global de 78%. Únicamente el 5% de las fincas fueron técnicamente eficientes, proyectando para el resto un ahorro medio del 22% en el consumo de recursos a partir de una gestión eficiente y/o operando en una óptima escala productiva (González Fidalgo et al., 1996).

En contraste con las investigaciones anteriormente descritas, otros autores utilizan como outputs expresiones de la producción lechera tales como el contenido de sólidos, grasa y proteína de la leche. Jaforullah & Whiteman (1999) evaluaron 264 fincas en Nueva Zelanda con el objetivo de analizar la relación entre el tamaño y la eficiencia técnica, empleando como outputs las variables descritas previamente y como inputs la tierra, mano de obra, número de vacas lecheras, costos de alimentación, fertilizantes, medicamentos e inversión

de capital (infraestructura y equipos). Se obtuvo un índice medio de eficiencia técnica de 89% y se estimó que el tamaño óptimo promedio para las fincas analizadas era de 83 ha y 260 animales.

Se ha evaluado el desempeño de sistemas de producción de leche mediante enfoques paramétricos y no paramétricos con el fin de comparar los resultados obtenidos, evidenciado que el análisis de eficiencia mediante DEA presenta discrepancias respecto a los modelos de frontera estocástica (Mbaga, Romain, Larue, & Lebel, 2003).

Por otra parte, el creciente interés sobre el impacto ambiental de la ganadería, ha llevado en la última década a desarrollar diversas investigaciones dirigidas a evaluar el desempeño ambiental de esta actividad, enfocándose en el estudio de las salidas indeseables asociadas con el proceso de producción, debido a su efecto sobre la integridad de los sistemas y la salud humana (Cecchini, Venanzi, Pierri, & Chiorri, 2018). En lechería se han desarrollado análisis de eficiencia técnica y ambiental empleando la metodología DEA. Respecto a la eficiencia ambiental han sido consideradas variables como las emisiones de gases de efecto invernadero con diferentes orígenes (fermentación ruminal, manejo del excremento, utilización de combustibles y fuentes energéticas) con el fin de minimizar los impactos negativos sobre el ambiente manteniendo la sostenibilidad. Se ha determinado también la ecoeficiencia de estos sistemas, cuantificando el impacto ambiental de los outputs indeseables del proceso productivo, para lo cual se han aplicado modelos DEA difusos que permiten tener en cuenta el grado de incertidumbre en el proceso de evaluación comparativa. Adicionalmente, se han desarrollado extensiones del modelo DEA con el fin de integrar medidas basadas en slacks (SBM) que permiten estimar los niveles de eficiencia ambiental, conocer el potencial de disminución de las emisiones de dióxido de carbono y optimizar el consumo de energía. De esta forma, se han estimado reducciones en el consumo de energía del 12% y reducciones potenciales de CO₂-eq en un rango de 26.3% a 45.7% (Cecchini et al., 2018; Heidari et al., 2011; Hosseinzadeh-Bandbafha, Safarzadeh, Ahmadi, & Nabavi-Pelesaraei, 2018; Hosseinzadeh-Bandbafha, Safarzadeh, Ahmadi, Nabavi-Pelesaraei, & Hosseinzadeh-Bandbafha, 2017; Mu, Kanellopoulos, Middelaar, Stilmant, & Bloemhof, 2018; Shortall & Barnes, 2013).

El modelo DEA-SBM se ha asociado con la metodología de análisis de ciclo de vida (LCA) para estimar la eficiencia ambiental de la producción de leche en España en términos de CO₂-eq, el cual es considerado como una salida indeseable del proceso productivo. La

aplicación de esta metodología integrada permite cuantificar las reducciones del output indeseable que deben realizar las unidades ineficientes y permite estimar la eficiencia individual para inputs y outputs. El índice de eficiencia medio fue de 83%, con valores de eficiencia individuales altos para los inputs asociados con el alimento y el uso de la superficie agraria (92.6% y 93.1%). Las disminuciones potenciales de CO₂-eq se estimaron en un rango de 15% a 45.7%, con un ahorro de 243.08 euros. Esta metodología permite también evaluar los impactos económicos de diferentes estrategias orientadas hacia la reducción de las emisiones contaminantes, así como la introducción de incentivos en la formulación de políticas públicas. Esta investigación muestra el gran potencial que tiene la integración de LCA con el método DEA para evaluar el desempeño operacional y ambiental a nivel de finca, determinar las unidades más eficientes y estimar ahorros económicos contribuyendo a la toma de decisiones y a la generación de parámetros ambientales de referencia en un determinado contexto (Iribarren, Hospido, Moreira, & Feijoo, 2011).

Adicionalmente, se ha analizado conjuntamente la eficiencia técnica, asignativa y ambiental de 216 unidades de producción de leche, definiendo la finca eficiente como aquella que simultáneamente minimiza los costos y las emisiones de gases de efecto invernadero. Las variables que no se pueden modificar en el corto plazo fueron incluidas como inputs fijos (mano de obra, superficie agraria e infraestructura), mientras que el uso de electricidad, combustible, fertilizantes, alimentos balanceados y el número de animales se incluyeron como inputs modificables en el corto plazo. Los outputs considerados fueron los ingresos brutos asociados a la venta de leche y otros productos. La eficiencia técnica media con VRS fue de 89.5%, la eficiencia de escala fue de 92.8% con una reducción del 7.2% en el consumo de insumos y emisiones de gases de efecto invernadero. El promedio de eficiencia asignativa permitió determinar que las fincas eficientes pueden reducir sus emisiones en un 18.3%, a partir de una combinación óptima de inputs (Wettemann & Latacz-Lohmann, 2017).

En sistemas de producción de doble propósito las investigaciones enfocadas a evaluar su eficiencia son muy limitadas debido a que se asocian con sistemas rudimentarios con bajos índices de productividad y adopción de tecnología, a pesar de que se configuran como una tipología predominante en sistemas de pequeña escala con un aporte significativo en la economía familiar. En la literatura se encuentra la evaluación de 144 y 123 ganaderías de doble propósito en Venezuela, 71 fincas ganaderas de la costa caribe Colombiana y de 12 fincas en el departamento de Cundinamarca, Colombia, aplicando los modelos de CRS y

VRS en sus dos orientaciones básicas (Gamarra, 2004; Ortega, Ward, & Andrew, 2007; Oviedo & Rodríguez, 2011; Urdaneta et al., 2010).

Tabla 1-5: Investigaciones de eficiencia en sistemas de producción de leche mediante DEA

AUTORES	PAÍS	DESCRIPCIÓN	INPUTS Y OUTPUTS	ET
Schulte et al., 2018	Alemania	Ponderar la relación entre el acceso a las pasturas, el bienestar animal y parámetros de producción de leche, vinculando funciones de distancia direccional para cuantificar el porcentaje de mejora de la eficiencia en el bienestar animal manteniendo fijo el nivel de producción de leche.	<i>Outputs:</i> bienestar animal y producción de leche. <i>Inputs:</i> costos de alimentación y uso de mano de obra.	Confinado: 1.23 < 6 ha: 1.13 6 – 10 ha: 1.12 > 10 ha: 1.06
Fraser y Cordina, 1999	Australia	Estimar la eficiencia técnica de 50 ganaderías de leche en dos periodos de tiempo: 1994-95 y 1995-96.	<i>Outputs:</i> kg de grasa y proteína. <i>Inputs:</i> vacas en ordeño, ha de praderas, agua de riego, suplementos alimenticios, fertilizantes y mano de obra.	1994-95: 90.5% 1995-96: 90.8%
Hansson y Öhlmér, 2008	Suecia	Investigar la contribución de prácticas de manejo en la mejora de la eficiencia técnica (ET), asignativa (EA) y económica (E) de 507 ganaderías de leche, en el corto y largo plazo.	<i>Outputs:</i> producción de leche, kg de animales, cultivos, forraje y otros. <i>Inputs:</i> forraje, mano de obra, capital, uso de energía, semillas, fertilizantes, prácticas de salud animal, reproducción y alimentación.	<i>Largo plazo:</i> -ET: 86.5% -EA: 75.2% -E: 64.5% <i>Corto plazo:</i> -ET: 88.9% -EA: 69.2% -E: 61.6%
Kelly, Shalloo, Geary, Kinsella, y Wallace, 2012	Irlanda	Estimar los niveles de eficiencia técnica en sistemas de producción de leche para identificar factores clave de gestión que diferencian las fincas eficientes de las ineficientes.	<i>Outputs:</i> producción de sólidos de la leche y otros productos <i>Inputs:</i> tierra (ha), número de vacas, concentrado, fertilizantes, mano de obra, otros costos directos.	ET _{CRS} : 78.5% ET _{VRS} : 83.3%
Shortall y Barnes, 2013	Escocia	Analizar la relación entre la eficiencia técnica y ambiental respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en sistemas de producción de leche mediante el desarrollo de 6 modelos, estimando 3 puntajes diferentes de eficiencia técnica y 3 de eficiencia ambiental, con el objetivo de observar el comportamiento de los índices de eficiencia con la inclusión progresiva de variables ambientales.	<i>Outputs:</i> producción de leche, la inversa de las emisiones de GEI. <i>Inputs:</i> reemplazos, capital, labor, fertilizantes, alimento y diferentes categorías de emisiones de GEI.	-ET : 82.7% -ET1 : 82.9% -ET2 : 82.9% -EE1 : 13.6% -EE2 : 54.7% -EE3 : 88.1%
Cecchini et al., 2018	Italia	Análisis de la eficiencia ambiental de la producción de leche y la reducción potencial en las emisiones de CO ₂ mediante un modelo DEA - SBM	<i>Output deseable:</i> producción de leche. <i>Output indeseable:</i> emisiones de CO ₂ – eq. <i>Inputs:</i> unidades animales (UA), mano de obra (M), kg de MS (forraje y concentrado) ofertado a los animales, superficie agraria (SA), inversión de capital (C).	-SBM: 83% -UA: 93.1% -M: 82.7% -Kg MS: 92.6% -SA: 85.7% -C: 80%
Stokes et al., 2007	Estados Unidos	Calcular la eficiencia técnica y económica de 34 fincas de producción de leche mediante un modelo DEA- CRS.	Output: producción de leche y de butterfat, ingresos netos. Inputs: Labor, número de animales, superficie de tierra, deuda de capital.	ET: 78% E: 84.9%

AUTORES	PAÍS	DESCRIPCIÓN	INPUTS Y OUTPUTS	ET
D'Haese, Speelman, Alary, Tillard, & D'Haese, 2009	Francia	Analizar la eficiencia técnica de 34 fincas de producción de leche mediante un modelo DEA CRS y VRS.	Output: producción de leche. Inputs: número de vacas, número de hectáreas, labor, costos de salud, alimentación y reproducción del hato y costos operacionales.	ET _{CRS} : 92.7% ET _{VRS} : 95.1%
Hosseinzadeh-Bandbafha et al., 2018	Irán	Utilizar el DEA con CRS y VRS para determinar la eficiencia en la utilización de la energía en sistemas de producción de leche, estimando su consumo óptimo en 129.9 MJ/vaca.	<i>Outputs</i> : producción de leche y estiércol. <i>Inputs</i> : mano de obra, uso de combustible, electricidad, maquinaria y alimentación de los animales.	-ET _{CRS} : 90% -ET _{VRS} : 94% -EE: 95.3%
Arzubi, 2003	Argentina	Estimar la eficiencia técnica de 35 sistemas de producción de leche con datos del año 1997/98 con un modelo DEA VRS orientado al output e input.	<i>Output</i> : producción de leche <i>Inputs</i> : número de vacas totales, superficie ganadera y costos de producción de leche	<i>Input</i> : - ET _{CRS} : 78.2% - ET _{VRS} : 83.5% - EE: 93.9% <i>Output</i> : - ET _{VRS} : 81.9%
Gamarra, 2004	Colombia	Evaluar el nivel de eficiencia técnica en sistemas de producción de doble propósito mediante los modelos CRS y VRS con una orientación input y output para cada uno.	<i>Outputs</i> : valor de la producción anual de leche e ingresos totales por venta de terneros. <i>Inputs</i> : hectáreas de pastos, número de animales, costos fijos.	<i>Modelo CRS</i> : -Input: 59.7% -Output: 60.3% <i>Modelo VRS</i> : -Input: 71.3% -Output: 72.2%
Contreras, 2016	Colombia	Analizar la eficiencia en la prestación del servicio de asistencia técnica realizado por FEDEGAN en 121 fincas del Departamento de Boyacá	<i>Outputs</i> : conservación de forraje y agua, manejo de pasturas, abonos orgánicos, árboles y hectáreas con sistemas silvopastoriles. <i>Inputs</i> : horas de asistencia técnica, la inversión en capacitación y en material vegetal.	ET: 55.2%
Oviedo & Rodríguez, 2011	Colombia	Evaluar el nivel de eficiencia técnica relativa en sistemas de producción de leche y doble propósito	Análisis envolvente de datos (DEA)	
Urdaneta et al., 2010	Venezuela	Analizar la eficiencia técnica de sistemas ganaderos de doble propósito en la cuenca del Lago de Maracaibo mediante un modelo DEA – Bootstrap.	<i>Outputs</i> : producción anual de carne y leche. <i>Inputs</i> : superficie de tierra, unidades animales, capital fijo, capital circulante y mano de obra.	-ET _{CRS} : 54% -ET _{VRS} : 61% -EE: 89% -DEA – CRS corregido: 47% -DEA – VRS corregido: 50%

ET: eficiencia técnica, ETCRS: eficiencia técnica global, ET_{VRS}: eficiencia técnica pura, EE: eficiencia de escala, EA: eficiencia asignativa, E: eficiencia económica, SBM: medidas basadas en slacks, CRS: modelo de rendimientos constantes a escala, VRS: modelo de rendimientos variables a escala.

2. Capítulo 2: Estimación de la eficiencia técnica y análisis de segunda etapa en sistemas de producción de doble propósito del Piedemonte Araucano

2.1 Introducción

Los productores de carne y leche bovina toman cotidianamente decisiones que requieren datos e información, a partir de los cuales se identifican las fuentes de ineficiencia de la producción, se definen las mejores prácticas y se establecen indicadores blanco del desempeño que desean alcanzar en el sistema de producción en el corto y mediano plazo (Cabrera, Solís, & Corral, 2010). Una aproximación a la evaluación de esta actividad a la escala de la finca y de los conglomerados locales y regionales de producción es la cuantificación de la eficiencia, la cual se expresa de manera relativa en las unidades de producción estudiadas teniendo en cuenta las interacciones existentes entre los insumos de entrada y los productos obtenidos en la salida. De esta manera, el análisis DEA permite valorar integralmente la eficiencia de los sistemas de producción de leche bajo un enfoque multifuncional que caracteriza estructural y funcionalmente a estos sistemas, el cual es orientado desde una visión local, convergiendo en la mejor combinación de recursos disponibles para establecer la producción y con un análisis del desempeño de las fincas a través de la construcción de una frontera eficiente (Fraser & Cordina, 1999). Este tipo de análisis no requiere de la definición previa de una función de producción que describa el sistema (Chang & Mishra, 2011) y la herramienta permite establecer procesos de benchmarking a través de la identificación de las unidades pares de referencia para luego con un análisis de segunda etapa, estudiar sus prácticas de producción, lo cual, en conjunto con la definición de indicadores, permite promover estrategias de mejora para incrementar la eficiencia de las unidades de producción descritas como ineficientes. De esta manera se promueve la competitividad de las fincas mediante el análisis de factores tecnológicos y no tecnológicos que contribuyen a una consolidación de la sostenibilidad de

los sistemas de producción a diferentes escalas jerárquicas: municipal, micro-regional y regional.

En este capítulo se desarrolla un estudio de eficiencia mediante el análisis DEA en sistemas de producción de leche localizados en el Piedemonte Araucano y se converge mediante un análisis de segunda etapa en recomendaciones para incrementar la eficiencia en la utilización de los insumos definidos y la productividad del sistema finca en esta microrregión.

2.2 Materiales y Métodos

El proyecto de investigación se desarrolló bajo el marco del Convenio de Cooperación especial N° 559 de 2013 denominado “Desarrollo de un programa de gestión tecnológica para la innovación social y productiva de la carne y la leche en sistemas de producción bovina de la región de los llanos de Colombia” conocido también como Proyecto Bovino Arauca (PBA), realizado con el objetivo de desarrollar procesos de aprendizaje en 650 fincas ubicadas en el Departamento de Arauca, correspondientes a sistemas de producción de bovinos de cría, doble propósito, lechería tropical y ceba para facilitar la toma de decisiones y la gestión tecnológica y no- tecnológica de las fincas.

2.2.1 Localización y selección de la muestra

En la presente investigación, la población objeto de estudio correspondió a 237 fincas con sistemas de producción de doble propósito ubicados en los municipios de Arauquita, Saravena, Fortul y Tame que constituyen la microrregión del Piedemonte Araucano, donde los suelos, la infraestructura económica y de servicios muestran un gran potencial para el desarrollo de la producción de leche y carne. La selección de fincas para el proyecto fue realizada por los Comités Municipales Ganaderos de los municipios descritos y el grupo de investigación del PBA de la Universidad Nacional de Colombia mediante un muestreo no probabilístico realizado al interior de cada uno de los Comités, con una asimetría a nivel municipal en el número de fincas vinculadas al proyecto. En este proceso se tuvo en cuenta: las facilidades de acceso a las fincas y la disponibilidad de los productores y administradores de formar parte de la muestra.

Los sistemas de producción de leche estudiados corresponden a aquellos que obtienen leche y carne como productos finales del proceso productivo (sistema de doble propósito),

sobre la base de ganado criollo cruzado con razas Cebú y lecheras europeas, asociado también con la cría de machos y hembras destetos mediante un amamantamiento directo y el levante y ceba de estos. Estos sistemas de producción representan el 72% (Pitta, 2017) de la actividad ganadera de la microrregión, por lo que son de gran importancia en la economía y la calidad de vida de las comunidades rurales.

2.2.2 Recolección de información

La información utilizada en esta investigación fue obtenida mediante la aplicación de encuestas a pie de finca y proviene de la implementación del programa de Trazabilidad y Planeación estratégica del PBA, desarrollado con el objeto de obtener indicadores de referencia para los sistemas de ganadería bovina con una dinámica asociada al uso del suelo y a los cambios en la estructura interna de los hatos. La técnica de entrevista dirigida (López-Roldán & Fachelli, 2015) fue implementada a partir de dos enfoques: un enfoque participativo con el productor creando un entorno de confianza para facilitar el intercambio de información y promover el aprendizaje mutuo a través de manifestaciones verbales; y un enfoque de observación directa de los procesos descritos por el productor. Lo anterior permitió enriquecer y profundizar en el tipo de información que se deseaba recopilar y realizar su validación en campo con el fin de obtener datos reales que reflejan el comportamiento de las fincas y que fueron manejados bajo el compromiso de confidencialidad de la información (Bernet, Thiele, & Zschocke, 2006; López-Roldán & Fachelli, 2015). Los datos utilizados en el análisis provienen de fincas incluidas en el PBA por lo que la selección de la muestra no se realizó aleatoriamente y, por lo tanto, los resultados no son extrapolables a las demás ganaderías ubicadas en el Piedemonte Araucano. La información fue registrada y organizada en un sistema de información denominado Innovasoft.

2.2.3 Detección de outliers

Debido a la sensibilidad de los resultados del modelo DEA ante la presencia de observaciones atípicas y cuyo principal origen son errores de medición, se realizó como aproximación inicial un análisis exploratorio de la información mediante estadísticas descriptivas y la observación gráfica de la distribución de las variables con la herramienta box-plot del software R Studio que permitió definir dominios de expresión y detectar observaciones extremas. Posteriormente, se utilizó el método propuesto por Wilson (1993)

para la detección de observaciones atípicas en modelos DEA con múltiples *outputs*, el cual ha sido implementado previamente en investigaciones en ganadería bovina de carne (González, 2019) y doble propósito (Urdaneta, Dios-palomares, & Cañas, 2013). El análisis fue realizado utilizando el paquete estadístico FEAR del software R studio (Wilson, 2008).

2.2.4 Estimación de la eficiencia técnica

La eficiencia de los sistemas de producción generalmente ha sido evaluada mediante índices de productividad parcial que brindan información útil sobre el desempeño. Sin embargo, para analizar la eficiencia mediante la identificación de benchmarks fue necesario considerar simultáneamente el efecto de todos los *inputs* y *outputs* del proceso de producción (Fraser & Cordina, 1999; Ortega et al., 2007). Es por esto que el planteamiento de Farrell para la medición de la eficiencia ha sido utilizado recientemente considerando todos los *inputs* y los *outputs* involucrados con el fin de realizar una adecuada evaluación del comportamiento de las fincas. Su aplicación empírica se ha realizado a partir de dos enfoques: la estimación de fronteras estocásticas que implica el uso de técnicas econométricas y el análisis envolvente de datos (DEA) que utiliza algoritmos de programación lineal para la estimación de fronteras (Arzubi, 2003). Luego de realizar la revisión de estas metodologías y sus ventajas y desventajas, se decidió realizar la estimación de una frontera no paramétrica por medio de la metodología DEA, ya que esta herramienta permite estudiar las causas de las ineficiencias (técnica o de escala), determinar porcentajes de mejora para las fincas ineficientes mediante la identificación del grupo eficiente de referencia (benchmark) y la adaptación adecuada a contextos multiproducto, como es el caso de los sistemas de producción evaluados, donde se tiene una producción conjunta de carne y leche. El cálculo de los índices de eficiencia a partir de las observaciones reales de cada finca se realizó en un contexto de largo plazo bajo el supuesto de que todos los *inputs* son variables (González Fidalgo et al., 1996).

Modelo matemático DEA

En el contexto de los sistemas de producción analizados, se eligió evaluar la eficiencia desde una orientación al *output*, debido a que no existen volúmenes de producción fijados por cuotas lecheras, por lo que maximizar la producción de leche y carne a partir de un uso eficiente de los recursos permitirá optimizar el proceso productivo, mejorar los ingresos de los ganaderos y promover la calidad de vida de las comunidades.

La estimación de la eficiencia técnica relativa de las unidades de producción se realizó mediante un modelo de rendimientos variables a escala (VRS) conocido también como BCC (Banker et al., 1984), debido a que se asumió que las fincas no se encuentran operando en una escala óptima y de esta forma se pueden analizar las ineficiencias técnicas, sin considerar el efecto de la escala de operación (Pardo Sempere, 2001). La eficiencia técnica fue definida como la habilidad de una unidad de producción para producir la máxima cantidad de leche y carne dado un conjunto de *inputs* de acuerdo con la tecnología de producción existente. El puntaje de eficiencia (θ_j) fue calculado por la relación de la suma ponderada de *outputs* y la suma ponderada de *inputs*, expresada matemáticamente así (ver Ecuación (2-1)) (Mousavi-Avval, Rafiee, Jafari, & Mohammadi, 2011):

$$\theta_j = \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj}} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \quad (0-1)$$

Donde s es el número de *outputs*, m el número de *inputs*, n el número de DMUs, θ_j ($j = 1, 2, \dots, n$) es la eficiencia técnica de la DMU_j , u_r ($r = 1, 2, \dots, s$) es la ponderación del output y_r en la comparación, v_i ($i = 1, 2, \dots, m$) es la ponderación del input x_i , y y_{rj} y x_{ij} representan los valores de los *outputs* e *inputs* y_j y x_i para la DMU_j , respectivamente. Cada DMU determina n conjuntos de ponderaciones *input* y *output* para la estimación de la eficiencia (Mousavi-Avval et al., 2011).

Considerando n DMU que emplean m insumos (X) para producir s productos (Y), la i -ésima unidad de decisión (DMU_i) estaría representada por los vectores X_i y Y_i . La formulación matemática del modelo VRS con una orientación *output* en su forma envolvente se muestra a continuación (Fraser & Cordina, 1999) (ver Ecuación (2-2)).

$$\text{Max}_{\varphi, \lambda} \varphi$$

Sujeto a:

$$Y\lambda - \varphi y_i \geq 0 \quad (0-2)$$

$$X\lambda - x_i \geq 0$$

$$N1'\lambda = 1$$

$$\lambda \geq 0$$

Donde:

x_i = vector $m \times 1$ que representa la cantidad de input de la DMU_i

y_i = vector $s \times 1$ que representa la cantidad de output de la DMU_i

X = matriz de inputs $M \times N$ de todas la n unidades incluidas en la muestra

Y = matriz de outputs $S \times N$ de todas las n unidades incluidas en la muestra

$N1$ = vector de constantes $N \times 1$.

Las tres primeras restricciones aseguran que el punto eficiente proyectado no se ubique por fuera de la frontera eficiente estimada (Chang & Mishra, 2011). La cuarta ecuación corresponde a la inclusión de una restricción de convexidad extendiendo el modelo CRS hacia situaciones de rendimientos variables a escala (VRS), lo que implica que los datos son envueltos más estrechamente que en el modelo CRS, por lo que los índices de eficiencia bajo este modelo serán mayores o iguales a los obtenidos en el modelo CRS (Coelli, 1996).

La medida de eficiencia técnica (ET) está dada por $\frac{1}{\varphi^*}$, tomando valores entre 0 y 1 e indicando el incremento proporcional en la producción de carne y leche que puede ser alcanzado por la i -ésima finca dados sus niveles en la utilización de *inputs* (Coll & Blasco, 2006). El modelo dual utiliza un menor número de restricciones dado que $K + N < N + 1$ y permite estimar, en el caso de que existan, las holguras (*slacks*) o reducciones no radiales de *inputs* y *outputs* y/o expansiones radiales de *outputs* (Arzubi & Berbel, 2002a). Siguiendo la definición de Pareto-Koopmans, la DMU evaluada será eficiente si y solo si la solución óptima $\varphi = 1$ y las variables de holgura en los *inputs* s^- y *outputs* s^+ son iguales a cero (Coll & Blasco, 2006; González, 2019).

La eficiencia técnica fue descompuesta en sus dos partes: la eficiencia técnica pura (ETP) y la eficiencia de escala (EE). Esta última hace referencia a la escala en que se realizan las operaciones en términos de maximizar la productividad media y para la i -ésima DMU, es hallada mediante la siguiente relación (Ver Ecuación (2-3)) (Urdaneta et al., 2010):

$$EE_i = \frac{ET_i^{CRS}}{ET_i^{VRS}} = \frac{ET}{ETP} \quad (0-3)$$

Cuando $EE_i = 1$ indica la presencia de retornos constantes a escala, es decir, la DMU evaluada opera en la escala óptima. Por el contrario, si $EE_i < 1$ indica que existen ineficiencias de escala, para la cual debe determinarse si se debe a la presencia de rendimientos crecientes (IRS) o decrecientes a escala (DRS). Para esto, se impone al modelo DEA la restricción de rendimientos a escala no crecientes (NIRS) dada por $N1'\lambda \leq 1$, obteniendo un nuevo índice de eficiencia ET_{NIRS} para cada DMU que presente ineficiencias de escala. Los rendimientos IRS y DRS se determinan mediante la comparación de los puntajes de eficiencia obtenidos con los modelos VRS y NIRS. De este modo, si $ET_{NIRS} = ET_{VRS}$, la DMU se encontrará operando en la zona de DRS, mientras que si $ET_{NIRS} < ET_{VRS}$, se encontrará operando en el sector de la curva de IRS (Arzubi & Berbel, 2002a; Mousavi-Avval et al., 2011; Urdaneta et al., 2010).

El programa de programación lineal planteado se resolvió para cada una de las fincas en la muestra mediante el método multietápico sugerido por Coelli (1996) para el correcto tratamiento de las holguras, utilizando el software DEAP Versión 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program desarrollado por el Centro de Análisis de Eficiencia y Productividad (CEPA) del Departamento de Econometría de la Universidad de New England, Australia (Coelli, 1996).

Una vez identificadas las fincas ineficientes, se analizaron sus porcentajes de mejora o niveles objetivos en la producción de carne y leche y en el consumo de *inputs* requeridos para alcanzar el nivel de eficiencia óptimo. La mejora potencial en cada uno de los *inputs* (x) y *outputs* (y), para cada DMU (k), expresado en porcentaje, se calculó de acuerdo con Coll y Blasco (2006) (ver Ecuaciones (2-4 y 2-5)):

$$\%Mejora_y = \frac{Valor\ Objetivo - Valor\ Observado_{ik}}{Valor\ Objetivo_{ik}} \times 100 \quad (0-4)$$

$$\%Mejora_x = \frac{Valor\ Objetivo - Valor\ Observado_{ik}}{Valor\ Objetivo_{ik}} \times 100 \quad (0-5)$$

Siendo i cada una de las variables de la finca k (Pardo Sempere, 2001).

Respecto al número de fincas incluidas en el análisis, se tuvo en cuenta el criterio establecido por Banker et al. (1984) en el que se sugiere que el número de DMU debe ser 3 veces superior al número total de *inputs* y *outputs* del modelo, lo cual, en conjunto con un reducido número de variables, permitirá obtener estimaciones robustas de la eficiencia (González, 2019).

2.2.5 Definición de variables *input* y *output* del modelo DEA

La sensibilidad a la especificación del modelo constituye una de las limitantes del DEA, debido a su carácter determinístico y no paramétrico en el que no se dispone de pruebas estadísticas para comprobar la robustez de los resultados (Arzubi, 2003), razón por la cual la selección de las variables que se incluirán en el análisis representa un factor crítico del proceso. Con el fin de mitigar los errores derivados de una mala especificación del modelo, se ha sugerido que es mejor incluir factores irrelevantes que omitir aquellos que son importantes en el proceso de producción estudiado (Smith, 1997). Sin embargo, se ha evidenciado que a medida que aumenta el número de inputs en el modelo se incrementa también el nivel de eficiencia media (Arzubi, 2003; Thomas & Tauer, 1994).

En trabajos previos de análisis de la eficiencia se han utilizado modelos de regresión lineal para observar el comportamiento de la producción de leche respecto a variables independientes como el uso de mano de obra, el número de vacas, el consumo de concentrados y forrajes, entre otros (Pardo Sempere, 2001). Por otra parte, en el análisis de sistemas de producción de carne se han utilizado técnicas de Stepwise, Backward y Forward para definir el conjunto de variables del modelo (González, 2019). En consecuencia, en el presente trabajo se utilizó el método Stepwise, considerando como *outputs* la producción anual de leche y carne, para explorar una serie de modelos alternativos a partir de la selección de variables independientes que se agregan o se eliminan en un proceso iterativo basado en su significancia estadística en una regresión, con el objetivo de determinar aquellas que tienen una asociación más fuerte con la variable dependiente y que maximizan el coeficiente de determinación (R^2) del modelo (Henderson & Denison, 1989; Liao, Li, Yang, Zhang, & Li, 2008; Zhou, Pierre, & Trudnowski, 2012).

De otra parte, la localización de los sistemas de producción de leche en estudio en una microrregión del ordenamiento territorial colombiano como es el Piedemonte Araucano

contribuye a evitar el efecto de variables ambientales sobre la especificación del modelo y los resultados de la eficiencia (Arzubi, 2003).

2.2.6 Identificación de fincas benchmark

En el modelo DEA VRS las fincas evaluadas fueron comparadas con aquellas de tamaño similar en la muestra, con el fin de determinar su grupo eficiente de comparación (benchmark) definido como la combinación lineal de procesos productivos que maximiza la obtención de leche y carne, sujeta a la restricción de utilizar, al menos, la cantidad de *inputs* (o una combinación similar) al de la unidad analizada. El grupo eficiente de comparación para cada unidad ineficiente es conformado por los valores positivos de lambda (λ), dentro de los cuales, la mayor ponderación corresponde a la DMU más apropiada para ser el referencial de las fincas ineficientes (Jaforullah & Whiteman, 1999; Stokes et al., 2007). Al hallar el grupo eficiente de comparación para todas las unidades se representa la frontera de mejor práctica, donde las unidades que se ubican sobre esta frontera son calificadas como eficientes técnicamente, cuyo benchmark está compuesto exclusivamente por ellas mismas (González Fidalgo et al., 1996). Una vez identificadas las fincas eficientes, fue aplicado el método de benchmarking para su clasificación, en el cual las unidades con una mayor frecuencia de aparición en los conjuntos de referencia fueron elegidas para estudiar sus prácticas de producción (Mousavi-Avval et al., 2011).

2.2.7 Análisis Tobit

Con el objetivo de investigar las prácticas de gestión operacionales que tienen influencia sobre los índices de eficiencia obtenidos en el DEA, se desarrolló un análisis de segunda etapa mediante un modelo de regresión Tobit, el cual es preferido frente al modelo de regresión de mínimos cuadrados debido a que permite manejar la distribución de la medida de eficiencia (Boubacar, Hui-qiu, Rana, & Ghazanfar, 2016), la cual se encuentra censurada a un límite superior de 1 (Hansson & Öholmér, 2008). Sin embargo, debido a la naturaleza del análisis se sugiere utilizar datos censurados a cero (Greene, 1993). Es por esto por lo que para el análisis fue utilizada como variable dependiente el puntaje de ineficiencia, calculado según Barnes (2006) (ver Ecuación (2-6)).

$$\text{Puntaje de ineficiencia} = 1 - \left(1/\varphi^*\right) \quad (0-6)$$

El modelo de regresión Tobit se representa de la siguiente manera (Barnes, 2006) (Ver Ecuación (2-7)):

$$\begin{aligned}
 Y &= Y^* \text{ para } Y > 0, \\
 Y &= 0 \text{ para } Y^* \leq 0, \\
 Y^* &= b'x + u \quad i = 1, 2, 3, \dots, n
 \end{aligned}
 \tag{0-7}$$

Donde Y^* es el vector que contiene los puntajes de ineficiencia (Ramilan et al., 2011), x es un vector de variables independientes que pueden afectar la eficiencia (Tabla 2-1), b es el vector de parámetros desconocidos conectado con las variables independientes (Boubacar et al., 2016) y u es un término de error distribuido independientemente como $N(0, s^2)$. El análisis fue realizado utilizando el paquete estadístico VGAM del software R studio.

Tabla 0-1: Variables independientes modelo Tobit

VARIABLE	ABREVIATURA	UNIDADES	CLASIFICACIÓN
Superficie en pastos	SAU	Ha	Estructural
Uso de Mano de Obra/Ha	MOH	UTA/ha	Funcional
Carga Animal	CA	UFS/ha	Funcional
Vacas en Ordeño	VACASO	UFS	Funcional
Animales-Cría	CRIA	UFS	Estructural
Animales-Levante	LEVANTE	UFS	Estructural
Animales-Ceba	CEBA	UFS	Estructural
Producción de leche	LECHE	Kg/vaca/día	Funcional
Natalidad	NAT	%	Funcional
Digestibilidad de la materia seca	DMS	%	Funcional
Potencial de Ingestión de la materia seca	IMS	%	Funcional

Ha: hectáreas, UTA: unidad de trabajo anual, UFS: unidades funcionales, Kg: kilogramos

La digestibilidad de la materia seca (DMS) y el potencial de ingestión (IMS) fueron calculados a partir del análisis de la calidad nutricional de los forrajes, mediante las ecuaciones propuestas por Moore y Undersander (2002) (Ver Ecuación (2-8 y 2-9)).

$$IMS = \frac{120}{\%FDN}
 \tag{0-8}$$

$$DMS = 88.9 - (0.779 * (\%FDA))
 \tag{0-9}$$

2.3 Resultados y discusión

2.3.1 Definición de Variables *input* y *output* del modelo DEA

Se definieron como *outputs* la producción de leche (kg/año) ajustada a una lactancia de 210 días y la producción de carne (kg/año) definido como los kg en pie derivados de la cría, el levante y la ceba de animales. Los resultados del modelo de regresión Stepwise desarrollado para las variables relacionadas con la producción de leche y carne se observan en la Tabla 2-2 y 2-3, respectivamente. La superficie agraria útil representada en las hectáreas de pastos tuvo una relación significativa ($p < 0.05$) con la producción de carne, debido a que se configura como la principal fuente de alimento para los animales (Pardo Sempere, 2001). Por lo tanto, a pesar de que no se incluyó en el modelo desarrollado para la producción de leche, fue seleccionado como un *input* para el modelo DEA. De igual manera, la cantidad de vacas en ordeño incide directamente sobre la producción de leche ($p < 0.01$), influenciado también por el inventario animal total en el que se incluyen los animales en: cría, levante y ceba ($p < 0.05$), por esta razón se tomó la decisión de incluir como un *input* la variable agregada correspondiente al inventario animal total representado en unidades funcionales (UFS), con el fin de dar un mejor ajuste a la especificación del modelo e incluir todos los factores que pueden potencialmente tener influencia en los resultados de la eficiencia (Arzubi, 2003). Una unidad funcional (UFS) se define como un animal con un peso adulto de 480 kg, con una producción de leche de 1,500 litros por lactancia, una tasa de fertilidad del 52%, una demanda energética de 2.5 MJ/litro de leche, una demanda de energía metabolizable de mantenimiento de 18,972 MJ/año, una demanda de energía metabolizable para leche de 1,950 MJ por lactancia y un rendimiento en canal del 50%. El número de vacas junto con las hectáreas en pastos representan alrededor del 80% de la inversión en capital de las fincas (Arzubi & Berbel, 2002b) evidenciando que son factores relevantes en su desempeño.

El uso de mano de obra definida como las unidades de trabajo anual por hectárea (un trabajador que labora 2,496 horas al año) (Escribano, 2014) presentó una relación significativa ($p < 0.05$) con la producción de leche y carne, por lo que fue considerada también como un *input* para realizar el análisis de eficiencia. De esta manera, se seleccionó un reducido número de variables de entrada para evitar disminuir el número de dimensiones libres en el modelo DEA (Arzubi, 2003) y obtener resultados robustos. Además, las variables seleccionadas permitirán analizar la variedad de tecnologías

existentes en el Piedemonte Araucano, donde las fincas con una producción más intensiva utilizan una menor superficie y un mayor uso de mano de obra. En contraste, las producciones extensivas emplean un menor uso de mano de obra y una mayor proporción de tierra (Arzubi & Berbel, 2002b). Aquellas que maximizan la producción de leche y carne a partir de un uso óptimo de las variables de entrada fueron consideradas eficientes mediante el análisis DEA.

Tabla 0-2: Selección de variables input - producción de leche.

VARIABLE	UNIDAD	ERROR ESTÁNDAR	P-VALOR
Mano de Obra	UTA	456.21	0.00146 **
Inventario Animal Total	UFS	19.92	0.00401 **
Vacas Ordeño	UFS	65.82	2.0 e-16 ***
Vacas Reemplazo	UFS	91.82	0.10896
Animales en Cría	UFS	238.65	0.15345

Ha: Hectárea, UFS: unidades funcionales; UTA: unidades de trabajo anual.

Arzubi & Berbel (2002) utilizan como único *output* la producción de leche debido a que representa el 86.7% del total de los ingresos percibidos por el productor. Por el contrario, al revisar los estudios de eficiencia en sistemas de doble propósito, las variables descritas en este trabajo son similares a las utilizadas en Venezuela (Urdaneta et al., 2013, 2010) y Colombia (Gamarra, 2004), donde se definieron como *outputs* la producción anual de carne y leche y los ingresos totales por la venta de terneros; y como *inputs*: la tierra, el tamaño del rebaño definido como unidades animales, el uso de mano de obra expresado como unidad trabajo hombre (UTH), el capital fijo, el capital circulante y los gastos varios. Igualmente, en el análisis de sistemas de producción de leche fueron empleadas variables estandarizadas similares a las definidas en este estudio respecto al número de unidades animales y la mano de obra (Adenuga, Davis, Hutchinson, Patton, & Donnellan, 2020; Berre, Blancard, Boussemart, Leleu, & Tillard, 2014).

Por otra parte, en el análisis de sistemas de producción de leche fueron incluidas como *inputs* el consumo de concentrado y de forraje por vaca (kg de MS) con el objetivo de ajustar su nivel de asignación y reducir los costos de alimentación (Cabrera et al., 2010; Pardo Sempere, 2001); así como también los costos de mano de obra. La información asociada a los costos de producción e ingresos no fue incluida en esta investigación debido a la ausencia de registros económicos y a la dificultad de obtenerla por medio de la técnica de entrevista utilizada para recopilar la información en las fincas incluidas en el estudio. En consecuencia, se determinó evaluar la eficiencia técnica como una aproximación inicial al

estudio del desempeño de los sistemas de producción de leche en el Piedemonte Araucano y contribuir al aprendizaje tecnológico de los productores.

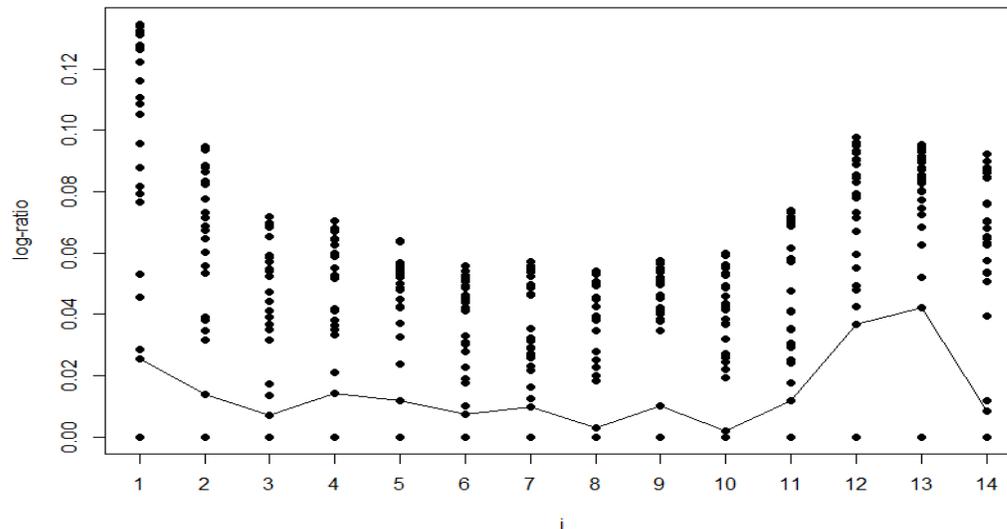
Tabla 0-3: Selección de variables input - producción de carne.

VARIABLE	UNIDAD	ERROR ESTÁNDAR	P-VALOR
Superficie Agraria Útil	Ha	5.44	0.04131 *
Inventario Animal Total	UFS	4.86	8.95 e-11 ***
Mano de Obra	UTA	110.58	0.00294 **

Ha: Hectárea, UFS: unidades funcionales; UTA: unidades de trabajo anual.

2.3.2 Detección de Outliers

El análisis gráfico de los datos atípicos mediante el cálculo de las relaciones $\log: \log \left[R_L^{(i)}(X^*) / R_{min}^i \right]$ para cada combinación N_i del grupo de datos L se observa en la Figura 2-1. Para cada valor de i , se representaron los 14 valores más pequeños de la relación log (log-ratio). Posteriormente, se trazó una línea que une los segundos valores más pequeños a través de todos los i con el fin de analizar si los primeros valores más pequeños se encuentran separados de los demás, eligiendo como *outliers* las observaciones pertenecientes al R_{min}^i de los conjuntos correspondientes a los valores de i en que el primero presente una distancia considerable de los demás. De esta forma, se observa que el valor de log ratio para la combinación de 13 observaciones muestra el último punto en el que se encuentra una inflexión, indicando como unidades atípicas las fincas 219, 212, 205, 193, 124, 217, 235, 221, 134, 130, 189, 224 y 211 (Tabla 2-4) que presentan los menores valores de R_{min}^i y que corresponden al 5.5% de las observaciones totales (Bogetoft & Otto, 2011; Urdaneta et al., 2013).

Figura 0-1: Valores log-ratio para 14 observaciones**Tabla 0-4:** Identificación de observaciones atípicas

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	$R_{min}^{(i)}$
1	211														0.81896
2	224	211													0.68027
3	189	224	211												0.57246
4	130	189	224	211											0.47804
5	221	130	189	224	211										0.40209
6	221	134	130	189	224	211									0.34188
7	217	221	134	130	189	224	211								0.28880
8	124	217	235	134	130	189	224	211							0.24292
9	124	217	235	221	134	130	189	224	211						0.20281
10	193	124	217	235	221	134	130	189	224	211					0.17072
11	219	212	205	193	124	217	235	134	189	224	211				0.14157
12	219	212	205	193	124	217	235	134	130	189	224	211			0.11574
13	219	212	205	193	124	217	235	221	134	130	189	224	211		0.09628
14	219	212	205	135	193	124	217	235	221	134	130	189	224	211	0.08244

La distribución de las 224 fincas en los municipios del Piedemonte Araucano se observa en la Tabla 2-5. La mayor proporción se encuentra ubicada en los municipios de Araucuita, en el que predominan los sistemas de producción de tipo semi-extensivo con un importante incremento de la ganadería de doble propósito mediante el cruce de razas Cebú con Holstein, Pardo Suizo y Normando; y el municipio de Tame, donde la actividad de mayor importancia es la ganadería de doble propósito con mayores adopciones de innovaciones tecnológicas (Pitta, 2017).

Tabla 0-5: Distribución de la muestra en estudio

MUNICIPIO	Nº FINCAS
Araucuita	86
Fortul	40
Saravena	47
Tame	51
Total	224

2.3.3 Estadística descriptiva de las variables del modelo

La estadística descriptiva de los *inputs* y *outputs* del modelo se presenta en la Tabla 2-6. Se evidencia que las unidades de producción presentan una amplia dispersión en los niveles de utilización de *inputs*, con coeficientes de variación de 92%, 85% y 50% para la tierra, carga animal y uso de mano de obra, respectivamente. Respecto a los *outputs*, la producción media de leche es 10.4 veces mayor a la producción media de carne, con variaciones del 75% y 98%, respectivamente. Lo anterior indica que la muestra de fincas incluidas en el análisis representa la variedad estructural y funcional existente en los sistemas de producción de leche y carne del Piedemonte Araucano, a partir de las cuales se construyó la frontera eficiente para posteriormente realizar un proceso de benchmarking (Tolosa, 2013).

Tabla 0-6: Estadística descriptiva de las variables *input* y *output*

ESTADÍSTICA	OUTPUTS			INPUTS	
	Leche (kg/año)	Carne (kg/año)	Superficie (ha)	Inventario Animal (UFS)	Mano de Obra (UTA)
Media	53,059	5,106	74.8	90	3.5
DE	40,061	5,048	69.2	77	1.7
Mínimo	2,658	287	8	3.0	0.45
Máximo	215,030	29,412	450	515	9.6
CV (%)	75	98	92	86	50

DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de Variación; kg: kilogramos; ha: hectáreas; UFS: Unidades Funcionales; UTA: unidades de trabajo anual.

El inventario animal se encuentra dentro del rango reportado para sistemas de doble propósito de trópico bajo Colombiano (≤ 900 animales) (Gamarra, 2004), mientras que respecto a ganaderías del trópico bajo de Venezuela, el promedio es inferior (90 vs 150 UA), así como también el uso de mano de obra (3.5 UTA vs 5.7 UTH) y la superficie agraria dedicada a la producción de carne y leche (74.8 vs 166 ha) (Urdaneta et al., 2013). Los valores mínimos y máximos del tamaño de las fincas fueron similares a los descritos para sistemas de doble propósito del trópico bajo de Colombia, con fincas con una extensión ≤ 500 hectáreas (Gamarra, 2004).

2.3.4 Análisis de eficiencia técnica

Los índices de eficiencia obtenidos mediante el modelo VRS con una orientación al *output* para las 224 unidades de producción se observan en la Tabla 2-7. La primera columna hace referencia a la medida de eficiencia técnica global, la segunda a la eficiencia técnica pura (VRS) y la tercera a la eficiencia de escala (EE). El valor mínimo de eficiencia en el modelo CRS y VRS fue de 0.057, correspondiente a la finca número 187, mientras que, en la eficiencia de escala, se obtuvo un valor mínimo de 0.278 para la DMU 13. Estos valores son inferiores a los reportados para sistemas de producción de leche en la provincia de Córdoba, España (0.541) (Pardo Sempere, 2001), ya que son ganaderías de tipo familiar, con programas de alimentación basados en el uso del componente de alimentación de: concentrados, paja y heno y unas altas cargas ganaderas, por lo que se definen como sistemas muy especializadas que emplean la raza Holstein para la producción de leche (Pardo Sempere, 2001) y por ende presentan mayores niveles de eficiencia respecto a las unidades de producción evaluadas en esta investigación. Sin embargo, estos índices mínimos fueron superiores a los descritos en sistemas de producción de leche en Argentina considerando el modelo VRS (0.143) (Angón, 2013).

Tabla 0-7: Medida de eficiencia técnica y de escala de los sistemas de producción de leche y carne del Piedemonte Araucano.

DMU	CRS	VRS	EE	RENDIMIENTOS
1	0.379	0.858	0.442	drs
2	0.605	0.614	0.985	drs
3	0.334	0.355	0.941	drs
4	0.297	0.507	0.585	irs
5	0.405	0.419	0.967	irs
6	1.000	1.000	1.000	-
7	0.119	0.261	0.458	drs
8	0.388	0.396	0.982	drs
9	0.572	0.573	0.999	irs
10	0.681	0.782	0.871	drs
11	1.000	1.000	1.000	-
12	0.296	1.000	0.296	irs
13	0.278	1.000	0.278	irs
14	0.194	0.214	0.904	drs
15	0.472	0.514	0.919	drs
16	0.381	0.390	0.976	drs
17	0.370	0.374	0.989	irs
18	0.800	0.851	0.940	drs

DMU	CRS	VRS	EE	RENDIMIENTOS
19	0.304	1.000	0.304	irs
20	0.302	0.303	0.998	irs
21	0.255	0.370	0.689	drs
22	0.645	0.867	0.743	drs
23	0.513	0.684	0.749	drs
24	0.403	0.516	0.780	drs
25	0.379	0.381	0.993	drs
26	0.430	0.447	0.963	drs
27	0.679	1.000	0.679	irs
28	0.605	1.000	0.605	irs
29	0.219	0.221	0.993	irs
30	0.346	0.374	0.925	drs
31	0.481	0.532	0.905	drs
32	0.242	0.357	0.677	drs
33	0.493	0.524	0.940	irs
34	0.161	0.166	0.965	drs
35	0.763	0.786	0.970	irs
36	0.365	0.367	0.993	irs
37	0.278	0.306	0.911	drs
38	0.130	0.139	0.931	irs
39	0.274	0.337	0.813	irs
40	0.112	0.127	0.882	drs
41	0.330	0.333	0.993	drs
42	0.221	0.232	0.956	drs
43	0.205	0.220	0.934	drs
44	0.193	0.214	0.900	drs
45	0.736	0.989	0.744	drs
46	1.000	1.000	1.000	-
47	1.000	1.000	1.000	-
48	0.647	0.651	0.994	drs
49	0.267	0.329	0.809	drs
50	0.225	0.602	0.373	irs
51	0.111	0.286	0.389	irs
52	0.989	1.000	0.989	drs
53	0.462	0.530	0.873	irs
54	0.597	0.629	0.950	drs
55	0.408	0.475	0.860	drs
56	0.337	0.731	0.460	irs
57	0.347	0.368	0.944	drs
58	0.548	0.552	0.994	irs
59	0.243	0.336	0.723	drs

DMU	CRS	VRS	EE	RENDIMIENTOS
60	1.000	1.000	1.000	-
61	0.742	0.860	0.862	irs
62	0.396	0.547	0.724	drs
63	0.333	0.335	0.994	drs
64	0.531	0.561	0.947	drs
65	0.370	0.573	0.646	irs
66	0.639	0.720	0.887	irs
67	0.268	0.274	0.978	drs
68	0.467	0.500	0.934	irs
69	0.669	0.698	0.959	irs
70	0.265	0.267	0.993	irs
71	0.670	0.740	0.906	irs
72	0.434	0.646	0.671	drs
73	0.480	0.625	0.768	irs
74	0.272	0.273	0.997	irs
75	0.548	0.550	0.996	drs
76	0.394	0.448	0.880	drs
77	0.417	0.475	0.878	drs
78	0.560	0.658	0.850	drs
79	0.302	0.350	0.864	irs
80	0.262	0.263	0.995	drs
81	0.237	0.242	0.978	drs
82	0.527	0.561	0.940	irs
83	0.494	0.550	0.898	irs
84	0.564	0.565	0.997	irs
85	0.789	0.852	0.925	drs
86	0.311	0.328	0.949	irs
87	0.378	0.416	0.908	drs
88	0.172	0.181	0.949	drs
89	0.397	0.495	0.803	drs
90	0.621	0.629	0.987	drs
91	0.163	0.230	0.708	drs
92	0.386	0.454	0.850	drs
93	0.347	0.351	0.990	irs
94	0.378	0.421	0.898	drs
95	0.099	0.099	1.000	-
96	0.584	0.770	0.759	drs
97	0.460	0.484	0.950	drs
98	0.640	0.674	0.950	drs
99	0.581	0.633	0.917	irs
100	1.000	1.000	1.000	-
101	1.000	1.000	1.000	-

DMU	CRS	VRS	EE	RENDIMIENTOS
102	0.422	0.529	0.799	irs
103	0.401	0.470	0.852	drs
104	0.162	0.236	0.689	drs
105	0.296	0.300	0.986	irs
106	0.711	1.000	0.711	drs
107	0.769	0.769	1.000	-
108	0.106	0.106	1.000	-
109	0.346	0.405	0.855	drs
110	0.211	0.213	0.988	drs
111	0.634	0.828	0.766	drs
112	1.000	1.000	1.000	-
113	0.238	0.264	0.899	drs
114	0.499	0.537	0.929	drs
115	0.368	0.372	0.988	drs
116	0.826	1.000	0.826	irs
117	0.400	0.410	0.976	drs
118	0.155	0.168	0.924	drs
119	0.232	0.272	0.853	drs
120	0.272	0.427	0.637	irs
121	0.272	0.424	0.641	drs
122	0.457	0.835	0.547	drs
123	0.219	0.228	0.959	drs
124	0.500	0.502	0.996	irs
125	0.467	0.857	0.545	irs
126	0.613	0.667	0.918	drs
127	0.285	0.285	1.000	-
128	1.000	1.000	1.000	-
129	0.174	0.179	0.970	irs
130	0.397	0.404	0.983	drs
131	0.220	0.257	0.857	drs
132	1.000	1.000	1.000	-
133	0.454	0.479	0.948	drs
134	0.353	0.353	1.000	-
135	0.703	0.736	0.955	drs
136	0.233	0.331	0.704	drs
137	0.151	0.153	0.991	drs
138	0.646	0.666	0.970	irs
139	0.193	0.222	0.870	irs
140	0.467	0.495	0.944	drs
141	0.934	1.000	0.934	irs
142	0.114	0.114	1.000	-

DMU	CRS	VRS	EE	RENDIMIENTOS
143	1.000	1.000	1.000	-
144	0.651	0.652	0.998	drs
145	0.451	0.494	0.914	drs
146	0.517	0.525	0.986	drs
147	0.534	0.582	0.919	drs
148	0.254	0.332	0.766	drs
149	0.247	0.275	0.900	drs
150	0.174	0.186	0.936	irs
151	1.000	1.000	1.000	-
152	0.231	0.329	0.702	irs
153	0.165	0.173	0.954	drs
154	0.239	0.274	0.871	irs
155	0.261	0.300	0.870	drs
156	0.232	0.263	0.883	drs
157	0.204	0.314	0.650	drs
158	0.364	0.398	0.915	drs
159	0.260	0.260	1.000	-
160	0.408	0.479	0.851	irs
161	0.155	0.157	0.987	drs
162	1.000	1.000	1.000	-
163	0.149	0.167	0.889	irs
164	0.266	0.272	0.977	drs
165	0.506	0.522	0.970	irs
166	0.279	0.297	0.940	drs
167	0.693	0.696	0.996	drs
168	0.279	0.285	0.980	drs
169	0.119	0.122	0.975	drs
170	0.512	0.528	0.971	drs
171	0.526	0.575	0.915	drs
172	0.288	0.310	0.930	drs
173	0.348	0.366	0.952	drs
174	0.812	0.845	0.961	drs
175	0.265	0.282	0.940	drs
176	0.537	0.606	0.887	drs
177	0.495	0.591	0.838	drs
178	0.112	0.118	0.951	drs
179	0.338	0.343	0.985	drs
180	0.312	0.556	0.562	drs
181	0.648	0.780	0.831	drs
182	0.339	0.355	0.954	drs
183	1.000	1.000	1.000	-
184	0.406	0.436	0.932	drs

DMU	CRS	VRS	EE	RENDIMIENTOS
185	0.555	1.000	0.555	drs
186	0.162	0.172	0.943	drs
187	0.057	0.057	1.000	-
188	0.246	0.283	0.867	irs
189	0.352	0.373	0.945	drs
190	0.947	0.957	0.990	drs
191	0.148	0.196	0.755	drs
192	0.483	0.709	0.681	drs
193	0.487	0.606	0.804	drs
194	0.409	0.524	0.780	drs
195	0.292	1.000	0.292	irs
196	0.411	0.556	0.739	drs
197	0.623	0.670	0.930	drs
198	0.211	0.211	1.000	-
199	0.268	0.377	0.711	drs
200	0.312	0.392	0.794	drs
201	0.270	0.451	0.598	drs
202	0.209	0.281	0.746	drs
203	0.180	0.508	0.354	drs
204	0.133	0.141	0.947	drs
205	0.207	0.233	0.891	drs
206	0.209	0.236	0.884	drs
207	0.331	0.345	0.959	irs
208	0.266	0.365	0.727	drs
209	0.663	0.942	0.704	drs
210	1.000	1.000	1.000	-
211	0.305	0.439	0.694	drs
212	0.353	1.000	0.353	drs
213	0.450	0.514	0.876	irs
214	0.382	0.416	0.919	drs
215	0.623	0.781	0.797	irs
216	0.203	0.208	0.975	irs
217	0.192	0.194	0.993	drs
218	1.000	1.000	1.000	-
219	0.663	0.667	0.994	drs
220	0.194	0.211	0.921	drs
221	0.302	0.469	0.643	drs
222	0.153	0.167	0.916	drs
223	0.224	0.250	0.898	drs
224	0.109	0.109	1.000	-

CRS: Eficiencia técnica global; VRS: Eficiencia técnica pura; EE: Eficiencia de escala; drs: rendimientos decrecientes a escala; irs: rendimientos crecientes a escala; -: rendimientos constantes a escala.

La estadística descriptiva de los resultados del modelo se observa en la Tabla 2-8. Se obtuvo un índice promedio de eficiencia técnica global (CRS) de 0.429 y considerando los rendimientos variables a escala (VRS), la eficiencia técnica pura (ETP) presentó un promedio de 0.505. Esto significa que técnicamente es posible incrementar la producción de leche y carne en un 49.5%, a partir de un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles (superficie agraria útil, inventario animal y mano de obra), la tecnología existente y la adopción de las mejores prácticas para alcanzar un marco operacional eficiente (Theodoridis et al., 2012), lo cual representaría también una mejora en los niveles de competitividad y en los ingresos de los ganaderos. Este porcentaje de incremento es superior al reportado para sistemas de producción de leche en Wisconsin (12%) (Cabrera et al., 2010) e inferior a lo mencionado para sistemas de producción de leche en Grecia (57%) (Siafakas et al., 2019).

El 7% (16) de las fincas de la muestra fueron técnicamente eficientes en el modelo CRS, mientras que, al considerar rendimientos variables a escala, el porcentaje se incrementó a 12.5% (28), siendo casi el doble de las DMU eficientes en el modelo CRS. Esto evidencia que existen ineficiencias en la escala de producción asociado también con el hecho de que en el modelo VRS, las fincas ineficientes son comparadas solamente con las unidades eficientes de tamaño similar (Fraser & Cordina, 1999), lo cual representa una ventaja para las primeras al momento de identificar su benchmark (Allendorf & Wettemann, 2015) y además origina un mayor número de fincas eficientes, cuando se asumen rendimientos variables a escala. Estas unidades de producción son las que conforman la frontera eficiente VRS y representan las mejores prácticas en la producción de leche y carne que permitirán incrementar la eficiencia técnica de las fincas ineficientes (Stokes et al., 2007). El porcentaje de fincas eficientes fue inferior al reportado por Oviedo y Rodríguez (2011) (Modelo 1=50%, Modelo 2=17%) y Gamarra (2004) (CRS:12%, VRS:25%), mientras que al compararlos con sistemas de doble propósito del trópico bajo de Venezuela, los resultados fueron similares (CRS:7%, VRS:13.8%) (Urdaneta et al., 2010).

La eficiencia de escala mostró un promedio de 0.867, con una menor cantidad de fincas eficientes en escala (26) que las técnicamente eficientes. Adicionalmente, se observó que una mayor cantidad de unidades de producción se encuentra operando con rendimientos

decrecientes, frente a las que presentan rendimientos crecientes a escala (139 vs 59). Esta medida indica que en promedio es posible incrementar en un 13.3% la producción de leche y carne en el caso de que esta se considere como la única causa de la ineficiencia y por lo tanto se lograra operar el sistema a una escala óptima. Resultados similares fueron reportados en fincas lecheras del trópico Ecuatoriano, con el 76% operando con rendimientos decrecientes y 14% con rendimientos crecientes a escala (Torres et al., 2017).

El índice medio de eficiencia obtenido en este trabajo fue considerablemente inferior a lo reportado en el análisis de sistemas de producción de doble propósito del trópico bajo colombiano para los modelos CRS (0.429 vs 0.603) y VRS (0.505 vs 0.722). Respecto a la comparación con sistemas de producción de leche y carne en el trópico de altura colombiano, los resultados obtenidos fueron igualmente inferiores (0.89 y 0.56) (Oviedo & Rodríguez, 2011). Al analizar la eficiencia en sistemas de producción de leche, los resultados obtenidos fueron marcadamente inferiores a los descritos por Arzubi y Berbel (2002) (CRS: 83.3%, VRS: 93.2%, EE: 89.3), Pardo Sempere (2001) (CRS: 0.608, VRS: 0.783), Allendorf y Wettemann (2015) (CRS: 0.876, VRS :0.910), Barnes (2006) (VRS: 0.84), Hansson y Öhlmér (2008) (0.889); y ligeramente inferiores a los de Chang y Mishra (2011) (0.58). Los valores inferiores pueden ser explicados por las condiciones del suelo y el tipo de sistema de producción que predomina en la microrregión del Piedemonte Araucano, los cuales tienden a ser de tipo extensivo y con bajos niveles de adopción de innovaciones tecnológicas.

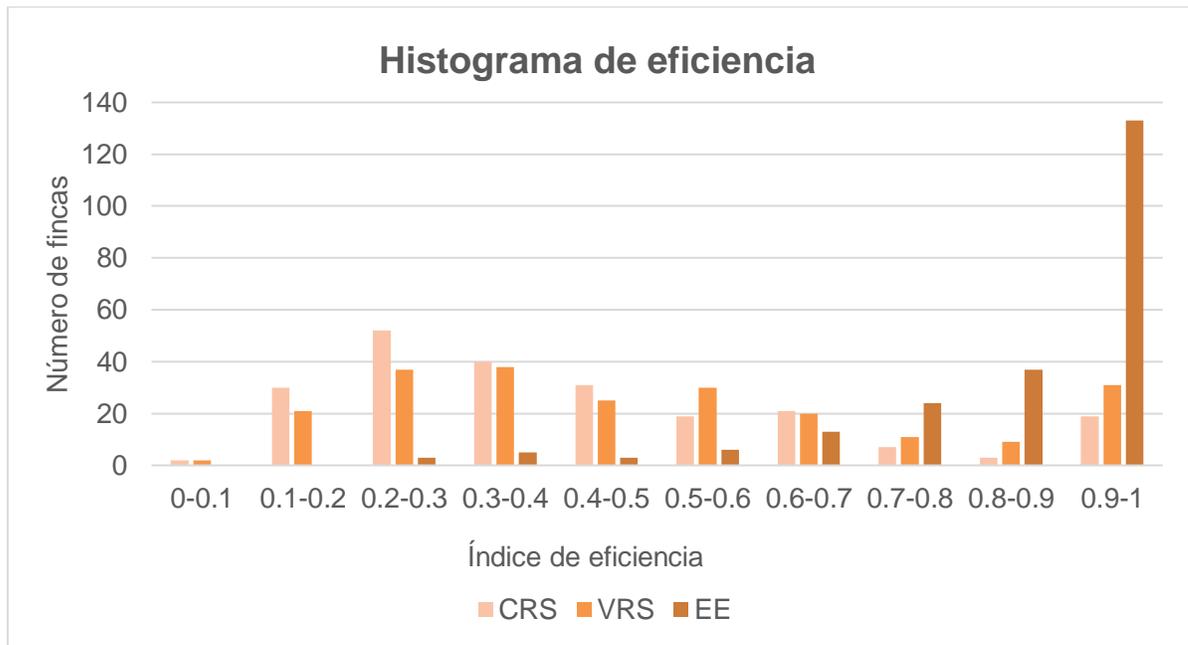
Tabla 0-8: Estadística descriptiva de los resultados del modelo para la determinación de la eficiencia de las 224 fincas

ESTADÍSTICA	ET _{CRS}	ET _{VRS}	EE
Media	0.429	0.505	0.867
Desviación estándar	0.242	0.270	0.160
Mínimo	0.057	0.057	0.278
Máximo	1.000	1.000	1.000
N° de firmas eficientes	16	28	26
% Fincas eficientes	7%	12.5%	11.6%
N° fincas IRS			59
N° fincas DRS			139

ET_{CRS}: eficiencia técnica global; ET_{VRS}: eficiencia técnica pura; EE: eficiencia de escala. IRS: rendimientos a escala crecientes; DRS: rendimientos a escala decrecientes.

La distribución de los puntajes de eficiencia para las 224 fincas analizadas en los modelos CRS, VRS y de escala se muestra en la Figura 2-2. Las observaciones se concentran en el rango del 70% al 100% para los puntajes de eficiencia de escala, con el 86.6% (194) de las fincas, por lo que se destaca la baja proporción con eficiencias relativamente bajas (13.4%). Esto permite definir que a partir de un uso óptimo de las entradas (eficiencia técnica) no existe un margen importante de mejora en términos de la escala de producción comparado con el potencial de incremento en la eficiencia derivado del aumento en la producción de leche y carne (Allendorf & Wettemann, 2015), ya que el 87% y el 77% de las fincas presentan puntajes inferiores al 70% en los modelos CRS y VRS. Estos resultados fueron similares a los reportados para sistemas de producción de carne y doble propósito en el trópico de altura colombiano (González, 2019; Oviedo & Rodríguez, 2011). Por el contrario, en sistemas de producción de leche, los resultados fueron contrastantes, con la mayor proporción de unidades productivas (34.2%) ubicadas en el intervalo de eficiencia del 61% al 70% y ninguna con puntajes inferiores al 50% (Pardo Sempere, 2001); y con el 83% de las fincas, con niveles de eficiencia superiores al 80% (Cabrera et al., 2010). Estas diferencias también se observaron al comparar los resultados de este trabajo con sistemas de doble propósito del trópico bajo, donde la mayor proporción se concentró en el intervalo de 51% a 60% de eficiencia (Gamarra, 2004) y con sistemas de producción de leche en Australia que mostraron un gran número de fincas operando cerca al nivel de eficiencia óptimo en todos los modelos estudiados (Fraser & Cordina, 1999).

Figura 0-2: Distribución de frecuencias de los índices de eficiencia.



El análisis de la eficiencia global, técnica y de escala de acuerdo con el tipo de rendimientos: constantes, decrecientes o crecientes, se observa en la Tabla 2-9. El 11,6% de las fincas se encuentra operando en la escala óptima, mientras que el 62% y 26% se ubica en el sector de la curva de rendimientos decrecientes y crecientes, respectivamente. Esto implica que un mayor número de fincas debería reducir su tamaño en relación a la combinación actual de factores que maximizan la obtención de carne y leche (Fraser & Cordina, 1999). Se corrobora que cuando existen rendimientos constantes a escala, la eficiencia media es igual en los modelos CRS y VRS, por lo que no se presentan ineficiencias de escala y las fincas se desempeñan en una escala óptima.

En el modelo CRS, la mayor eficiencia media se obtuvo para las unidades de producción que presentaron rendimientos constantes a escala (0.706), seguido por aquellas con rendimientos crecientes (0.412) y registrándose el promedio más bajo para las fincas con rendimientos decrecientes (0.384). Un comportamiento similar se observó en el modelo VRS, con una eficiencia media de 0.706, 0.536 y 0.455, cuando se tienen rendimientos constantes, crecientes y decrecientes, respectivamente. La eficiencia de escala registró un promedio relativamente alto para los rendimientos decrecientes (0.862) y crecientes a

escala (0.821). En consecuencia, la mayor fuente de ineficiencia en el modelo CRS corresponde a ineficiencias técnicas puras.

La ganancia promedio que se obtendría en la eficiencia técnica pura al corregir la escala subóptima de producción es del 17%; y del 25.1% para el caso de la escala supra óptima, por lo que, respecto a los rendimientos constantes a escala, se conseguiría una mayor eficiencia al corregir el sobredimensionamiento en el uso de las entradas. Respecto al *input* de superficie agraria útil, su utilización corresponde a ganaderías de tipo extensivo que se relacionan en el área de influencia del estudio con la existencia de latifundios que soportan la tenencia de la tierra, con escasa inversión en tecnología y baja productividad. De acuerdo con la Gobernación de Arauca (2005), solamente el 27% del área dedicada a esta actividad cuenta con pastos mejorados y en menor proporción, con pastos de corte como Kinggrass, evidenciando la necesidad de implementar practicas asociadas a un mejor uso de las praderas para optimizar su productividad.

De acuerdo con lo anterior, el área dedicada a la producción ganadera junto con el inventario animal no representarían limitantes estructurales para la productividad de la leche y la carne en el Piedemonte Araucano, sino que estaría relacionada con un mejor aprovechamiento de estos recursos disponibles en el sistema. Resultados similares fueron obtenidos en sistemas mixtos de producción de carne donde no se encontró una relación entre el tamaño de las fincas y la escala de operación, sino que esto fue afectado por el nivel de intensificación (Gaspar, Mesías, Escribano, & Pulido, 2009). Igualmente, Pardo Sempere (2001) describió que tanto explotaciones muy grandes como pequeñas pueden ser eficientes asignando mano de obra e instalaciones, por lo que la escala de producción (leche expresada en litros/año) no es una causa directa de la ineficiencia, sino que la eficiencia esta función de la asignación de recursos por litro de leche producido. En el estudio de sistemas de doble propósito se observó un comportamiento similar respecto a los rendimientos que caracterizan las escalas de producción, con un mayor porcentaje de fincas (40,3%) que operan con rendimientos decrecientes respecto a las que presentan rendimientos crecientes a escala (34,7%) (Urdaneta et al., 2010). Los resultados fueron contrastantes con los descritos por González Fidalgo et al. (1996), destacando que las unidades de producción identificadas como las más eficientes desde el punto de vista de la escala son las que presentan menores niveles de eficiencia técnica, por lo que no se observó una relación clara entre esta y el tamaño de las fincas.

Tabla 0-9: Puntajes de eficiencia según el tipo de rendimientos a escala.

RENDIMIENTO	ÍNDICES DE EFICIENCIA		
	ET _{CRS}	ET _{VRS}	EE
Constantes (11.6%) *			
Media	0.706	0.706	-
Mínimo	0.057	0.057	-
Máximo	1.000	1.000	-
Decrecientes (62%) *			
Media	0.384	0.455	0.862
Mínimo	0.112	0.118	0.353
Máximo	0.989	1.000	0.998
Crecientes (26%) *			
Media	0.412	0.536	0.821
Mínimo	0.111	0.139	0.278
Máximo	0.934	1.000	0.999

* Porcentaje de fincas con rendimientos constantes, decrecientes y crecientes. ET_{CRS}: eficiencia técnica global; ET_{VRS}: eficiencia técnica pura; EE: eficiencia de escala.

Al analizar los rendimientos de escala en función de los factores utilizados y las salidas obtenidas, se determinó que el tamaño óptimo promedio para los sistemas de producción de leche en el Piedemonte Araucano en términos de la superficie agraria útil, el número de animales y el uso de mano de obra fue de 59 ha, 57 UFS y 3.2 UTA, respectivamente (Tabla 2-10), con una producción media de leche de 68,217 kg/año y de carne de 7,518 kg/año. De esta forma, las fincas que presentan drs se encuentran por encima de la escala óptima de producción en un promedio de 37 ha, 60 UFS y 0.8 UTA; obteniendo una producción inferior en 6,844 kg/año de leche y 1,582 kg/año de carne, evidenciando que estas utilizan proporcionalmente una mayor cantidad de factores que no implican una mayor productividad, lo cual puede reflejar una inapropiada combinación de entradas que podría atribuirse a que la toma de decisiones por parte de los productores es una actividad con mayor complejidad cuando se realizan grandes operaciones (Fraser & Cordina, 1999), siendo necesario corregir este sobredimensionamiento para alcanzar la escala óptima de producción (Urdaneta et al., 2010). Con relación a las unidades de producción con irs, se encuentran por debajo de la escala óptima en 26 ha, 17 UFS, 0.8 UTA, 41,424 kg/año de leche y 5,429 kg/año de carne, presentando un potencial de crecimiento en términos del uso de factores y la productividad anual de la finca.

Tabla 0-10: Utilización de inputs y obtención de outputs de acuerdo con rendimientos de escala.

VARIABLE	RENDIMIENTOS		
	crs	drs	irs
Área (ha)			
Media	59	96	33

VARIABLE	RENDIMIENTOS		
	crs	drs	irs
Mínimo	17	18	8
Máximo	134	450	254
Inventario Animal (UFS)			
Media	57	117	40
Mínimo	10	14	3
Máximo	163	515	140
Mano de Obra (UTA)			
Media	3.2	4.0	2.4
Mínimo	0.5	1.6	0.6
Máximo	7.2	9.6	8.4
Producción de leche (kg/año)			
Media	68,217	61,373	26,793
Mínimo	4,779	12,687	2,658
Máximo	187,329	215,030	75,551
Producción de carne (kg/año)			
Media	7,518	5,936	2,089
Mínimo	288	807	327
Máximo	27,713	29,413	6,537

ha: hectáreas; UFS: unidades funcionales; UTA: unidad de trabajo anual; kg: kilogramos; crs: rendimientos constantes a escala; drs: rendimientos decrecientes a escala; irs: rendimientos crecientes a escala.

2.3.5 Identificación de fincas benchmark y sus características

Una de las ventajas de la aplicación del análisis envolvente de datos se relaciona con la identificación de los benchmarks apropiados para cada DMU ineficiente. En algunos casos, este se compone de una sola DMU; sin embargo, la mayoría de veces el modelo identifica y pondera múltiples unidades de producción para ser referentes en procesos de benchmarking (Heinrichs et al., 2013). El número de veces que cada finca eficiente técnicamente (VRS=1) es un referente para una unidad ineficiente se muestra en la Tabla 2-11.

Tabla 0-11: Frecuencia de las fincas eficientes en los conjuntos de referencia

FINCA	FRECUENCIA
-------	------------

		FINCA	FRECUENCIA
151	126		
60	90	27	13
11	62	112	11
6	49	218	10
162	47	52	7
183	32	141	7
212	30	28	5
46	28	19	3
128	28	13	2
132	26	195	2
106	24	210	2
47	21	100	1
143	20	101	1
12	15	116	0
		185	0

FRECUENCIA: número de veces que una finca eficiente aparece en un conjunto de referencia.

La unidad número 151, con una frecuencia de 126, fue posicionada en el primer lugar por el modelo DEA siendo la finca más próxima a las unidades que se sitúan por debajo de la frontera de producción y, por lo tanto, la más adecuada para ser referente de mejora. Esta unidad de producción utiliza 56 ha de pastos, 59 UFS y 4.9 UTA, para producir 187,329 kg/año de leche y 13,022 kg/año de carne. Al investigar sus prácticas de producción, se destacan el uso de concentrados y sal mineral en la alimentación animal, el pastoreo se realiza en praderas de *Brachiaria humidicola* cv. Llanero (antes conocido como *B. dictyoneura*) y como pasto de corte se maneja el King Grass morado (*Pennisetum purpureum x Pennisetum thyphoides*). El pasto *Brachiaria humidicola* constituye una de las mejores alternativas para los sistemas ganaderos de los Llanos Orientales de Colombia, protege el suelo de la degradación y compactación por parte de los animales y presenta un gran potencial para mejorar la capacidad de carga animal de los sistemas de producción en conjunto con adecuadas prácticas de fertilización (Rincón, Flórez, Ballesteros, & León, 2018). En estas praderas se han reportado ganancias promedio en la producción de carne de 643,4 gr/animal/día en el Piedemonte Araucano (Laiton, 2019). Respecto al pasto de corte, se ha determinado un producción de biomasa de 62,8 t/ha siendo superior al encontrado para el King Grass verde (Roncallo, Sierra, & Castro, 2012). Además, esta finca cuenta un programa reproductivo de inseminación artificial, un porcentaje de natalidad del 74% y un acompañamiento técnico de profesionales especializados en el

sector pecuario, lo que incrementa la capacidad de gestión de los recursos por parte del ganadero.

Se observa que a pesar de que todas las DMU son consideradas como referentes por ser eficientes técnicamente, no todas son parte del conjunto de referencia de las unidades ineficientes, como lo son las fincas número 116 y 185, debido a que presentan unas relaciones *output/input* que no son similares a los de ninguna DMU ineficiente de la muestra. En consecuencia, se destaca la utilidad del DEA en el desarrollo de procesos de benchmarking, ya que las fincas no son comparadas con un promedio sino con aquellas que son similares en relación con la obtención de carne y leche a través de una combinación óptima de las variables de entrada. Por lo tanto, la identificación y adopción de las mejores prácticas se simplifica a través de un modelo que genera estrategias de mejora mediante la conformación de grupos de fincas similares (Tolosa, 2013).

La identificación de los conjuntos de referencia para cada unidad ineficiente y su contribución a los valores proyectados representados por los pesos (λ) se presentan en el Anexo A. Dentro de cada conjunto de referencia, la DMU que presenta el mayor valor de lambda (λ) será la unidad par de referencia más similar a la unidad ineficiente respecto a la cantidad de *outputs* que producen. Por ejemplo, al observar la unidad ineficiente número 8 (Tabla 2-12), su conjunto de referencia está conformado por las DMU 6, 11, 151 y 60 que contribuyen en un 58%, 1%, 6.2% y 34.8%, respectivamente, a los valores proyectados en la obtención de leche y carne que deben ser alcanzados por dicha unidad (8) para que se posicione en la frontera eficiente de producción. De este modo, la finca número 6 es la unidad eficiente más apropiada para investigar las prácticas de gestión operacionales que permitirán mejorar el proceso de producción y el desempeño de esta unidad ineficiente (González, 2019; Tolosa, 2013). Este análisis demuestra que los productores no deberían realizar comparaciones respecto a las fincas con los niveles más altos de producción, sino que deben combinar los recursos disponibles (has pastos, número de animales y mano de obra) de acuerdo con su tecnología, para lograr un nivel eficiente de producción, que como se evidencia en este trabajo, puede ser inferior al nivel máximo de producción de la muestra (Stokes et al., 2007).

Tabla 0-12: Conjunto de referencia para la unidad ineficiente numero 8

DMU	PEERS									
	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ
8	6	0.580	11	0.010	151	0.062	60	0.348	-	

PEERS: unidades pares, DMU: unidad de toma de decisiones, λ : contribución a los valores proyectados de la finca ineficiente.

Las características de las unidades eficientes técnicamente relacionadas con el consumo de *inputs* y la obtención de leche y carne, así como sus relaciones *output/input* que definen la frontera eficiente de producción se observan en la Tabla 2-13. Estas unidades utilizan en promedio 72.8 ha, 76 UFS y 3.1 UTA para producir 78,877 kg/año y 9,908 kg/año de leche y carne, respectivamente. Se observa que la finca número 212 cuenta con los valores más altos para la superficie agraria útil (450 ha), inventario animal (382 UFS) y uso de mano de obra (8.2), siendo también la que obtiene el mayor volumen de producción de leche (215,030 kg/año) y uno de los valores más altos en la producción de carne (16,542 kg/año), por lo que se evidencia que a partir de una combinación óptima en la utilización de las entradas, el productor será capaz de maximizar su productividad y ser eficiente desde un punto de vista técnico.

Tabla 0-13: Valores *input* y *output* de las unidades eficientes

DMU	INPUTS			OUTPUTS			RATIOS				
	Área (ha)	Inventario Animal (UFS)	Mano de Obra (UTA)	Leche (kg/año)	Carne (kg/año)	Leche/Ha	Leche/UFS	Leche/UTA	Carne/Ha	Carne/UFS	Carne/UTA
6	85	81	2.4	156,780	8,673	1,844	1,931	65,325	102	107	3,614
11	125	163	1.7	173,474	14,841	1,388	1,068	102,044	119	91	8,730
12	10	16	0.7	3,992	1,182	399	250	5,703	118	74	1,689
13	9	15	1.3	8,975	327	997	598	6,904	36	22	251
19	8	10	5.2	9,601	979	1,200	960	1852	122	98	189
27	10	16	2.2	26,509	1,540	2,651	1,657	12,050	154	96	700
28	13	17	1.4	26,957	1,371	2,074	1,590	19,255	105	81	979
46	20	10	3.2	63,041	6,175	3,152	6,304	19,765	309	618	1,936
47	90	46	4.4	99,727	16,301	1,108	2,173	22,694	181	355	3,710
52	65	117	2.5	124,088	17,204	1,909	1,065	49,635	265	148	6,882
60	20	33	1.4	64,359	6,773	3,218	1,950	45,971	339	205	4,838
100	48	46	3.4	141,818	4,422	2,955	3,074	41,711	92	96	1,301
101	30	29	4.3	103,967	2,203	3,466	3,591	24,178	73	76	512
106	127	165	4.3	157,839	23,216	1,243	956	36,707	183	141	5,399
112	82	88	0.5	59,295	3,082	723	676	118,590	38	35	6,164
116	96	117	0.6	38,283	6,035	399	327	63,805	63	52	10,058
128	62	153	4.2	36,664	27,713	591	240	8,730	447	182	6,598
132	44	69	3.3	10,866	19,810	247	157	3,293	450	287	6,003
141	10	3	3.2	21,149	1662	2,115	7,050	6,609	166	554	519

DMU	INPUTS			OUTPUTS		RATIOS					
	Área (ha)	Inventario Animal (UFS)	Mano de Obra (UTA)	Leche (kg/año)	Carne (kg/año)	Leche/Ha	Leche/UFS	Leche/UTA	Carne/Ha	Carne/UFS	Carne/UTA
143	60	11	4.3	133,131	5,529	2,219	12,103	30,925	92	503	1,284
151	56	59	4.9	187,329	13,022	3,345	3,175	38,134	233	221	2,651
162	17	22	4.1	67,874	7,683	3,993	3,071	16,555	452	348	1,874
183	88	90	1.5	115,507	18,310	1,313	1,287	77,005	208	204	12,207
185	187	200	7.9	46,319	29,413	248	231	5,858	157	147	3,720
195	8	16	3.2	9,340	482	1,167	584	2,915	60	30	151
210	134	97	1.0	11,017	16,762	82	113	11,017	125	172	16,762
212	450	382	8.2	215,030	16,542	478	562	26,138	37	43	2,011
218	86	44	1.4	95,630	6,169	1,112	2,180	68,307	72	141	4,406

ha: hectáreas; UFS: unidades funcionales; UTA: unidades de trabajo anual; kg: kilogramos

Respecto a las relaciones de productividad en la obtención de leche, se observó que las fincas 27, 46, 60, 100, 101, 151 y 162 construyen la frontera eficiente por ser las que se ubican en el cuartil superior frente a las hectáreas (> 2,403 kg). Igualmente, la DMU 143 por situarse también en el cuartil superior respecto a las UFS (12,103 kg) y las DMU 6, 11, 52, 112, 116, 183 y 218 por presentar relaciones *output/input* con las UTA por encima de > 46,887 kg (cuartil superior). Las relaciones de productividad en la producción de carne frente a los factores utilizados y los cuartiles superiores definidos indican que la frontera la conforman las unidades 46, 52, 60, 128, 132, 151 y 162; 46, 47, 132, 141, 143, 151 y 162; 11, 52, 112, 116, 128, 183 y 210 dado que obtienen producciones superiores a los 214 kg/año, 209 kg/año y 6,043 kg/año, respecto a: la superficie agraria útil, el inventario animal y el uso de mano de obra, respectivamente. En consecuencia, esta información es de gran utilidad para la comunidad de ganaderos y los investigadores en términos de identificar las fincas que deben ser utilizadas como referenciales por su desempeño en procesos de benchmarking para la identificación de las mejores prácticas de gestión tecnológica (Fraser & Cordina, 1999).

2.3.6 Holguras y mejora potencial de las fincas ineficientes

La estadística descriptiva de los valores actuales y proyectados y los porcentajes de mejora potencial en el consumo de *inputs* para las 196 fincas identificadas como ineficientes en el análisis DEA se presentan en la Tabla 2-14. Los resultados individuales se encuentran reportados en los Anexos B, C, D y E. La utilización actual de la superficie agraria útil, el inventario animal y la mano de obra correspondió a 75 ha, 92 UFS y 3.5 ha, siendo superior respecto al uso por parte de las fincas eficientes en un promedio de 2.2 ha, 16 UFS y 0.4 UTA.

A partir de la construcción de la frontera eficiente de producción, la utilización de la superficie agraria útil, el inventario animal y la mano de obra, se proyectó en 61 ha, 69 UFS y 3.2 UTA, respectivamente. La comparación de los valores observados y objetivo permitieron estimar las holguras y mejoras potenciales siendo posible cuantificar en que magnitud los factores de producción son sobre utilizados en relación a su uso por parte de las fincas eficientes (Stokes et al., 2007). En este sentido, las fincas ineficientes deberían reducir la superficie agraria útil en un promedio de 14 ha (-20%), el inventario animal en 23 UFS (-26%) y el uso de mano de obra en 0.3 UTA (-9%), destacando que los dos primeros factores presentan las mayores reducciones en términos porcentuales, así como también el mayor número de fincas que deben reducir su utilización (50 y 112 DMU) (Tabla 2-15), siendo esta la principal causa de ineficiencia de la muestra de fincas evaluadas. El análisis permite inferir que el bajo desempeño se deriva de la utilización de cantidades muy grandes de hectáreas de pastos y número de animales, causando que la combinación de *inputs* no sea la adecuada para maximizar la producción de leche y carne (González Fidalgo et al., 1996). Por el contrario, el porcentaje de mejora en el uso de mano de obra indica que en general, este *input* no es un factor que afecte la eficiencia de las fincas en este estudio. Estos valores fueron similares a los reportados por Oviedo y Rodríguez (2011), pero contrastan con los descritos por Pardo Sempere (2001) en relación a la reducción en el uso de mano de obra (68%), los estimados por Urdaneta et al. (2010) respecto a la superficie agraria útil (5,89%) y el número de animales (6.85%) y los hallados por Gamarra (2004) referente al recurso forraje (43.6%) y el inventario animal (40.2%). Estos resultados sugieren la configuración de escenarios contrastantes entre sistemas de tipo extensivo del Piedemonte Araucano y las lecherías especializadas y sistemas de doble propósito en la Región Caribe de Colombia.

Tabla 0-14: Estadística descriptiva de los valores observados, objetivo y mejoras potenciales en los *inputs* de los sistemas de producción bovina del Piedemonte Araucano

ESTADÍSTICA	VALORES OBSERVADOS			VALORES OBJETIVO/MEJORA POTENCIAL					
	Área (ha)	Inventario Animal (UFS)	Mano de obra (UTA)	Área (ha)	%	Inventario Animal (UFS)	%	Mano de obra (UTA)	%
Media	75	92	3.5	61	20	69	26	3.2	9
DE	66	76	1.7	43	63	47	34	1.0	25
Mínimo	9	10	0.9	9	0	10	0	0.9	0
Máximo	369	515	9.6	269	368	260	159	6	187
CV	88	83	48	70	315	68	131	34	278

%; porcentaje de fincas que presentan mejoras potenciales en los *inputs*, DE: desviación estándar; CV: coeficiente de variación; ha: hectáreas; UFS: unidades funcionales; UTA: unidades de trabajo anual.

La estadística descriptiva de las cantidades observadas y objetivo en la producción de carne y leche para las 192 fincas ineficientes, así como los valores que se derivan de un incremento radial o de una holgura se presentan en la Tabla 2-16. Los resultados para cada una de las fincas se reportan en los Anexos B, C, D y E.

Tabla 0-15: Número de fincas que presentan holguras en los *inputs* y *outputs*

	INPUTS/HOLGURAS						OUTPUTS/HOLGURAS			
	Área (ha)	%	Inventario animal (UFS)	%	Mano de Obra (UTA)	%	Leche (kg/año)	%	Carne (kg/año)	%
N	50	26	112	57	40	20	7	4	99	51

/: porcentaje de fincas que presentan holguras en los inputs y outputs, N: número de fincas; ha: hectáreas; UFS: unidades funcionales; UTA: unidad de trabajo anual; kg: kilogramos.

El movimiento radial indica la cantidad en que puede incrementarse la producción de carne y leche como resultado de la proyección hacia la frontera eficiente, por lo que la mejora se deriva de la puntuación de eficiencia, mientras que en contextos multiproducto como el de las fincas evaluadas en esta investigación, se obtienen también holguras en los *outputs*, indicando la cantidad adicional en que puede incrementarse la producción de leche y carne como resultado del desplazamiento a través de la propia frontera (Coll & Blasco, 2006; Heinrichs et al., 2013; Jaime, 2016). Estas últimas son calculadas como la diferencia entre las cantidades observadas, proyectadas y la expansión radial. Los valores proyectados tanto en el consumo de *inputs* como en la obtención de *outputs* provienen de la diferencia existente entre la combinación ponderada de las DMU que constituye el benchmark y la DMU ineficiente en análisis (Heinrichs et al., 2013).

Tabla 0-16: Estadística descriptiva de los valores observados, objetivo, holguras y movimiento radial en los *outputs* de los sistemas de producción bovina del Piedemonte Araucano

ESTADÍSTICA	VALORES OBSERVADOS				VALORES OBJETIVO			
			TOTAL		HOLGURA		MOVIMIENTO RADIAL	
	Leche (kg/año)	Carne (kg/año)	Leche (kg/año)	Carne (kg/año)	Leche (kg/año)	Carne (kg/año)	Leche (kg/año)	Carne (kg/año)
Media	49,371	4,421	115,055	11,275	756	1,328	64,927	5,526
DE	34,328	3,871	49,051	4,911	4,403	1,863	37,114	3,491
Mínimo	2,658	287	13,306	850	0	0	2,087	137
Máximo	183,621	25,825	190,423	27,423	34,524	11,797	145,529	15,663
CV	69	87	43	44	582	140	57	63

DE: desviación estándar; CV: coeficiente de variación; kg: kilogramos

Las fincas ineficientes mostraron una producción actual promedio de 49,371 kg/año y de 4,421 kg/año de leche y carne, respectivamente, siendo inferior en 29,506 kg/año de leche y 5,487 kg/año de carne respecto a la obtenida por parte de las fincas eficientes. Las

cantidades proyectadas fueron de 115,055 kg/año y 11, 275 kg/año de leche y carne, respectivamente, de las cuales, 756 kg correspondieron a la holgura obtenida en la producción de leche y 64, 927 kg/año al movimiento radial; mientras que, para la producción de carne, valores de 1,328 kg/año y 5,526 kg/año correspondieron a la holgura y expansión radial, respectivamente. De esta forma, se muestra que la mayor proporción de la mejora potencial de las fincas se deriva de la puntuación de eficiencia, es decir, del movimiento de las fincas hacia la frontera eficiente de producción.

La mejora potencial en términos porcentuales de las unidades ineficientes y su descomposición en la mejora proporcional, obtenida de la expansión radial; y la mejora holgura, derivada del movimiento a través de la frontera eficiente se observa en la Tabla 2-17.

La mejora potencial que se puede obtener en la producción de carne es superior en 6 puntos porcentuales a la proyectada para la producción de leche (63% vs 57%). Sin embargo, para el primer *output*, la mejora derivada de un movimiento radial es inferior (49%) a la estimada para la producción de leche (56%). Esto muestra que la mayor fuente de ineficiencia en los *outputs* corresponde a la producción de leche. Por lo tanto, para situarse en la frontera eficiente de producción, las fincas ineficientes deberían dirigir sus esfuerzos a incrementar la producción de leche, mediante la adopción de mejores prácticas de gestión, lo cual tendría un efecto de arrastre sobre la dinámica del sistema en términos de: la cría de terneros destetos, el levante y la ceba de animales y por ende sobre la producción de carne. Respecto a la holgura, el porcentaje de mejora fue superior en 12 puntos porcentuales para la producción de carne respecto a la de leche.

Como es lógico, todas las unidades ineficientes presentaron incrementos derivados de movimientos radiales para los dos *outputs*, mientras que 99 y solamente 7 fincas obtuvieron mejoras asociadas a las holguras en la producción de carne y leche (Tabla 2-15), respectivamente. Lo anterior indica que, en el proceso de producción de carne en sistemas de doble propósito, el 50% de las fincas pueden desplazarse a través de la frontera eficiente de producción hacia un punto realmente eficiente en el que, a partir de un ajuste en la utilización de las hectáreas de pastos, el inventario animal y/o el uso de mano de obra, sería posible incrementar aún más esta producción, sin afectar la obtención de leche. Este hallazgo muestra la importancia del efecto de arrastre y la compensación que tiene la producción de leche en los sistemas de doble propósito, ya que de esta

producción dependerá una adecuada estructuración biológica del crecimiento de las crías, los blancos de ganancia de peso corporal y por lo tanto la producción de carne.

Tabla 0-17: Estadística descriptiva de los porcentajes de mejora potencial de los outputs

ESTADÍSTICA	MEJORA POTENCIAL (%)					
	TOTAL		HOLGURA		MOVIMIENTO RADIAL	
	Leche (kg/año)	Carne (kg/año)	Leche (kg/año)	Carne (kg/año)	Leche (kg/año)	Carne (kg/año)
Media	57	63	2	14	56	49
DE	21	20	9	19	21	22
Mínimo	1	4	0	0	1	1
Máximo	94	95	68	90	94	90
CV	37	32	577	131	38	44

DE: desviación estándar; CV: coeficiente de variación; kg: kilogramos

Desde el punto de vista técnico, las reducciones promedio en el consumo de *inputs* y el incremento en la producción de carne y leche estimado en el análisis de eficiencia proyectaría las fincas ineficientes en procesos de optimización de su producción con indicadores de eficiencia bajo el concepto de Pareto Koopmans (Villarreal & Tohmé, 2017).

2.3.7 Análisis de segunda etapa: regresión Tobit

Con el objetivo de investigar los componentes estructurales y los procesos tecnológicos (Capriles, 1998) de los sistemas de producción de leche que se relacionan con la eficiencia, se desarrolló un modelo de regresión Tobit incluyendo como variable dependiente los puntajes de ineficiencia calculados a partir de las estimaciones obtenidas en el análisis envolvente de datos (Tabla 2-18). La interpretación de los resultados del modelo Tobit se describe teniendo en cuenta los coeficientes (+ o -) de los estimadores hallados para cada variable independiente. Debido a que los resultados del DEA determinaron que una de las principales causas de ineficiencia corresponde al inventario animal, se desagregó esta variable en las diferentes categorías presentes en el hato con el fin de analizar aquellas que tienen un mayor efecto en la eficiencia de producción.

Tabla 0-18: Modelo de regresión Tobit para los puntajes de ineficiencia.

VARIABLE	ESTIMADO	ERROR ESTÁNDAR	P - VALOR
SAU	0.0011911	0.000291	4.24 e-05***
MOH	-1.2861502	0.2771715	3.48 e-06***
CA	0.0578631	0.0304883	0.057712 +
VACASO	-0.0050304	0.0009753	2.50 e-07***
CRIA	-0.0133124	0.0036798	0.000297 ***
LEVANTE	-0.0045264	0.0010724	2.44 e-05 ***

VARIABLE	ESTIMADO	ERROR ESTÁNDAR	P - VALOR
CEBA	0.000136	0.0008672	0.875338
LECHE	-0.0738336	0.0121564	1.25 e-09 ***
NAT	-0.2968697	0.1652291	0.072381 +
DMS	-0.0252404	0.0143617	0.078836 +
IMS	0.0987431	0.1898356	0.602958

*** $P < 0.001$; + $P < 0.1$. $R^2 = 0.508$; R^2 ajustado = 0.478. SAU: superficie agraria útil (ha); MOH: mano de obra (UTA/ha); CA: carga animal (UFS/ha); VACASO: vacas en ordeño (UFS); CRIA: animales en cría (UFS); LEVANTE: animales en levante (UFS); CEBA: animales en ceba (UFS); LECHE: producción de leche (kg/vaca/día); NAT: natalidad (%); DMS: digestibilidad de la materia seca (%); IMS: potencial de ingestión de materia seca (%).

El coeficiente de determinación del modelo fue de 0.508, mientras que el coeficiente de determinación ajustado tuvo un valor de 0.479, presentando un mejor ajuste comparado con otros estudios: González (2019) (0.322), Gamarra (2004) (0.437) y Rouse et al. (2010) (0.04).

La variable superficie en pastos (ha) tuvo una relación altamente significativa ($P < 0.001$) y positiva con la ineficiencia, lo cual permite corroborar los resultados previos, donde las ganaderías con una mayor cantidad de hectáreas presentan estructuralmente mayores niveles de ineficiencia, lo cual se asocia con una producción de tipo extensivo sumado a la baja capacidad de gestión de los ganaderos, cuyo criterio principal para aumentar la productividad se basa en el incremento del número de potreros con la utilización de praderas naturales sin la incorporación de nutrientes obteniendo un promedio en la ceba de animales de 5 años, lo cual es superior al promedio nacional (Gobernación de Arauca, 2005). Esto evidencia la necesidad de implementar programas de mejoramiento en el manejo del componente alimentación en torno al uso de los recursos forrajeros disponibles y orientados a una mejor eficiencia estacional en la utilización de las praderas, la mejora en la calidad y disponibilidad de la biomasa forrajera y del recurso agua y del uso de energías alternativas para su implementación (eólica y solar), ya que la tendencia global muestra que se debe incrementar la producción de leche y carne a partir de la misma cantidad (o incluso menos) de uso del recurso tierra, reduciendo a la vez los impactos ambientales en el corto plazo sobre la microrregión (Godfray et al., 2010).

El uso de mano de obra por hectárea (UTA/ha) presentó un efecto funcional altamente significativo e inverso sobre la variable dependiente ($P < 0.001$). Por lo tanto, un mayor uso de mano de obra por hectárea permite obtener una mayor eficiencia en la producción de leche y carne debido a que se relaciona directamente con el aumento en la gestión de la

actividad ganadera a través del seguimiento a indicadores tecnológicos y no- tecnológicos que se derivan del ajuste de las actividades cotidianas en las distintas áreas tecnológicas asociadas al proceso de producción. De esta forma, se facilita la implementación y control de prácticas sanitarias, la correcta asignación estacional de los recursos alimenticios necesarios para el aporte de nutrientes (subproductos, forrajes conservados, etc.), el manejo de las praderas mediante adecuados tiempos de rotación y pastoreo, el mantenimiento de cercas y potreros, entre otros, resultando en un incremento de la productividad individual y grupal de los animales, lo cual se traduce en un incremento en el nivel de eficiencia de la localización y utilización de los recursos disponibles y el alcance de las metas productivas de corto plazo.

Los estudios en sistemas de producción de leche han identificado que un incremento en la productividad de la mano de obra lograría optimizar su asignación sin la necesidad de una reducción de su utilización total, lo cual es fundamental en sistemas de producción con una mayor proporción de mano de obra familiar (Pardo Sempere, 2001). En este sentido, el nivel de formación de la mano de obra (Chang & Mishra, 2011; Kumbhakar, Ghosh, & Thomas, 1991; Ondersteijn, Giesen, & Huirne, 2003) y la experiencia de los productores en la actividad lechera (Barnes, 2006; Boubacar et al., 2016; Holmann et al., 2006) se han correlacionado positivamente con la productividad y la eficiencia técnica, mientras que la edad del productor ha tenido un efecto inverso sobre estos indicadores (Kumbhakar et al., 1991; Maietta, 1998). Respecto al análisis de los factores que determinan la eficiencia ambiental de los sistemas de producción de leche, se ha encontrado que los productores que tienen una mayor edad (59 años en promedio) son más eficientes que los jóvenes, lo cual estaría relacionado con una mayor experiencia y gestión de uso de los nutrientes disponibles en condiciones de pastoreo (Adenuga et al., 2020).

Las unidades funcionales correspondientes a las vacas en ordeño, cría y levante presentaron una relación altamente significativa ($p < 0.001$) e inversamente proporcional con el nivel de ineficiencia. Este hallazgo tiene sentido teniendo en cuenta que un factor relevante para la producción de leche y carne en los sistemas de producción analizados se asocia con la dinámica reproductiva del hato, la cual se refleja en una mayor proporción de animales en lactancia que a su vez se relacionan con el número de nacimientos, la cantidad de animales en la fase de cría y en la etapa de levante. En conjunto con los resultados del modelo DEA, los resultados muestran que la fuente de ineficiencia relacionada con el inventario animal se asocia con la distribución del hato, donde un mayor

número de vacas secas y de hembras de reemplazo no contribuyen con la productividad de las fincas evaluadas, encontrando en investigaciones previas que un desbalance en la estructura del hato, con un porcentaje de vacas secas superior al 16% (periodo de lactancia de 305 días y un intervalo entre partos de 365 días) y un alto número de novillas de reemplazo son un indicativo de inadecuadas prácticas de detección de celos, baja implementación de programas de inseminación artificial, baja calidad del semen de los reproductores y un manejo deficiente de la vaca posparto, lo que en conjunto genera una baja tasa de fertilidad (Cortez-Arriola et al., 2014). Adicionalmente, se ha descrito que al incrementar la tasa de reemplazo en un 1% se reduce la eficiencia en 0.9 puntos porcentuales, por lo que uno de los objetivos de las fincas ineficientes debería ser asegurar la longevidad de los animales (Allendorf & Wettemann, 2015) .

Estos resultados son similares a los obtenidos en el análisis de sistemas de leche en el trópico bajo colombiano, donde una mayor proporción del hato en ordeño se relaciona con una mayor productividad (Holmann et al., 2006). Se ha reportado que incrementar el número de vacas en ordeño en un 1% resulta en un incremento de la producción de leche de 0.78% (Cabrera et al., 2010). Resultados contrastantes se hallaron respecto a lo reportado por Arzubi & Berbel (2002), quienes encontraron que el grupo competitivo presentó un mayor número de vacas totales.

El promedio de producción de leche en litros por vaca por día fue altamente significativo ($P < 0.001$) con una relación inversamente proporcional con la ineficiencia del sistema de producción. Esto se debe a que maximizar la producción de leche por individuo optimiza el uso de los recursos necesarios para su producción y es un reflejo de las mejoras en términos genéticos u operacionales, principalmente en la estructuración de sistemas de alimentación y el manejo de los recursos forrajeros que permiten establecer balances nutricionales adecuados para alcanzar los blancos de producción establecidos. Esto concuerda con lo descrito por Arzubi (2003) y Allendorf y Wettemann (2015), donde el nivel de eficiencia fue directamente proporcional a la productividad por vaca.

Respecto a la variable carga animal (UFS/ha), esta se encuentra relacionada directamente con el nivel de ineficiencia de las unidades de toma de decisiones. Lo anterior puede estar asociado a tres factores principales: las características funcionales de los animales disponibles en el hato, lo cual implica que un mayor número no redundará en una mejor eficiencia si los animales no cuentan con las características adecuadas en términos de

productividad, acorde con las exigencias del mercado y con una adaptación a las condiciones propias de la microrregión del piedemonte Araucano que permitan expresar las cantidades de producción de leche o las tasas de crecimiento esperadas en función del nivel en el uso de los insumos. El segundo factor corresponde a las condiciones ambientales en que se encuentran los animales, ya que las fincas pueden contar con individuos de un alto valor genético y simultáneamente tener un alto grado de uso del suelo en términos de intensificación; sin embargo, el productor no suministra las condiciones adecuadas en términos nutricionales, sanitarios y de manejo para que los animales expresen su potencial genético, lo cual no le permite alcanzar óptimos niveles de eficiencia. Finalmente, y asociado con el punto anterior, las prácticas de manejo de la reproducción pueden condicionar los parámetros de desempeño de las hembras tales como el intervalo entre partos, impactando negativamente la distribución de los animales en el hato. En este estudio se observa que escenarios con altas cargas animales, pero con distribuciones poblacionales inadecuadas afectan directamente la producción de leche, el nacimiento de terneros y el flujo de animales destinados a la producción de carne. Estos resultados son similares a los reportados en el estudio de sistemas mixtos en la península ibérica, con menores niveles de eficiencia para unidades productivas con una elevada carga animal (0.975) (Gaspar, Escribano, Mesías, Pulido, & Martínez, 2007). Igualmente, en el análisis de sistemas de producción de leche, carne y de cría del trópico de altura, se determinó que la mejor práctica corresponde al mejoramiento genético orientado al uso de genotipos como Holstein, Jersey y Pardo Suizo en la producción de leche y Simmental para la orientación productiva de doble propósito (Gamarra, 2004; Oviedo & Rodríguez, 2011). Gamarra (2004) menciona que aumentar la productividad de la tierra no implica incrementar su capacidad de carga, sino mejorar las características productivas de los animales para no afectar, en el largo plazo, la sostenibilidad de las ganaderías. De esta forma, las fincas más eficientes son aquellas que obtienen una mayor producción de leche y carne a partir de un menor número de animales, con mejores precios de comercialización y en menores tamaños de fincas, evidenciado que la selección de un pie de cría orientado a las exigencias del mercado y adaptado a las condiciones locales de producción junto con un mérito genético en términos reproductivos y productivos son un factor fundamental para mejorar la competitividad de las unidades productivas en condiciones específicas de producción (Berton et al., 2020; Thomas & Tauer, 1994).

La natalidad (%) y la digestibilidad de la materia seca (%) de los recursos forrajeros disponibles en la pradera presentaron una tendencia ($p < 0.10$) con un coeficiente negativo, lo cual indica que tienen una relación inversamente proporcional con el grado de ineficiencia de las fincas valoradas. Estos indicadores corroboran los hallazgos descritos previamente, resaltando la necesidad de brindar mejores condiciones ambientales haciendo especial énfasis en el componente de alimentación con la digestibilidad de los recursos alimenticios como indicativo de la calidad nutricional de los forrajes, la composición de las diferentes fracciones que lo componen y el aporte de nutrientes, factores necesarios para satisfacer los requerimientos de mantenimiento, crecimiento y reproducción. Adicionalmente, la digestibilidad de la materia seca es el reflejo de prácticas asociadas al adecuado manejo de las praderas que, en el caso de las unidades de producción evaluadas, muestran una racionalidad funcional entorno a la toma de decisiones por parte del productor del momento óptimo de pastoreo de las praderas. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Pardo Sempere (2001), indicando la gran importancia que tiene sobre la eficiencia de fincas de producción de leche: la estructura del hato (vacas en primer parto y secas), el manejo reproductivo (días en lactancia, porcentaje de preñez), la sanidad, la asignación de forraje y concentrados por litro de leche, entre otras. Adicionalmente, se ha evidenciado una correlación significativa entre la eficiencia, la suplementación mineral (Urdeneta et al., 2010) y la disponibilidad de forraje (Toro-Mujica et al., 2020); así como también una mejor respuesta en la productividad de los sistemas de producción del Piedemonte de los Llanos Orientales cuando se utiliza una suplementación estratégica en bajas cantidades (< 0.5 kg MS/vaca/día) (Holmann et al., 2006). Lo anterior también mejora la eficiencia ecológica de los sistemas de producción, ya que una alta utilización de concentrados puede generar un detrimento ambiental asociado a los contenidos de fósforo (Adenuga et al., 2020). Igualmente, la implementación de prácticas de riego tienen una relación directa con la productividad de las fincas, debido a que permiten tener un control sobre la disponibilidad de forraje en la época crítica del verano (González, 2019).

El incremento en la eficiencia de uso de los insumos disponibles se puede lograr mediante la formulación e implementación de programas de apropiación de conocimiento basados en procesos de benchmarking para identificar las mejores prácticas, por lo que los resultados de esta investigación brindan herramientas muy importantes para aumentar los estándares de desempeño de los sistemas de producción de leche y carne en la

microrregión del Piedemonte Araucano (Fraser & Cordina, 1999). En este sentido, a partir de la medición de la eficiencia y el análisis de segunda etapa junto con el acompañamiento de profesionales del sector pecuario, es posible orientar la gestión estratégica de los sistemas de producción de leche en el Piedemonte Araucano entendido como un proceso en el que aspectos que son difícilmente modificables en el corto plazo (operacionales, macroeconómicos y de mercado) son tomados en consideración para entender cómo afectan el desempeño de las fincas y de esta forma planificar el proceso de producción en el largo plazo (Hansson, 2007).

3. Conclusiones y recomendaciones

3.1 Conclusiones

En esta investigación se utilizó la metodología del análisis envolvente de datos para la evaluación de la eficiencia técnica de sistemas de producción bovina localizados en el Piedemonte Araucano con un análisis adicional de segunda etapa y un estudio de benchmarking orientados en conjunto a la toma de decisiones de los ganaderos y a la valoración de su vocación microrregional en la producción de leche. Esta metodología ha sido aplicada en el estudio de la eficiencia en múltiples agroindustrias debido a su carácter no paramétrico por lo que no requiere asumir una función de producción, sino que esta se construye a partir del conjunto de datos observados. Además, es de gran utilidad en el análisis de contextos multiproducto y en la identificación de los conjuntos de referencia que permiten orientar las estrategias de mejora de las fincas ineficientes, de modo que a nivel global ha tenido un desarrollo incremental en la evaluación del desempeño del sector lácteo y cárnico bovino, principalmente con orientaciones a la estimación de la eficiencia técnica, económica y ambiental de diferentes tipologías de producción.

El uso de un modelo de rendimientos variables a escala (VRS) permitió caracterizar el contexto real en el que se desempeñan las fincas, con una orientación hacia el *output* cuyo objetivo fue maximizar la producción de leche y carne a partir del uso actual en la superficie agraria útil, el inventario animal y la mano de obra. Estas variables de entrada se seleccionaron a partir de un modelo de regresión Stepwise que permitió establecer con precisión la asociación significativa con la producción anual de carne y leche y de este modo evitar problemas asociados con una mala especificación del modelo.

Los resultados de la evaluación mostraron que el 87% y el 77% de las fincas tienen puntajes de eficiencia técnica relativamente bajos (<0.07) en el modelo CRS y VRS, respectivamente, con un valor promedio de 0.505 para el modelo de rendimientos variables a escala. Se concluye que existe un margen considerable para aumentar la eficiencia

técnica de las unidades de producción en el Piedemonte Araucano a partir de un incremento promedio de la producción de leche y carne del 49.5%, con un mejor aprovechamiento de la superficie agraria útil, el inventario animal y el uso de mano de obra.

Las fincas en el área de estudio no operan en la escala óptima, con un 62% con rendimientos decrecientes y un 26% con rendimientos crecientes a escala. Una alta proporción de fincas (86.6%) mostró puntajes de escala superiores a 0.07, con un promedio de 0.867 para todas las fincas evaluadas, por lo que la ineficiencia de escala generó una pérdida de producto del 13.4%. En consecuencia, la principal fuente de ineficiencia técnica global se deriva de los bajos niveles de eficiencia técnica pura (VRS), indicando que la corrección por efecto de la escala de producción no es tan grande comparada con un incremento en los volúmenes de producción de leche y carne.

El análisis de los rendimientos a escala mostró que la eficiencia técnica es mayor cuanto más pequeña es la finca, por lo que las economías de escala no benefician la productividad debido a que las DMU con un mayor número de hectáreas en pastos, animales y mano de obra no realizan una gestión adecuada de estos recursos que permitan maximizar proporcionalmente la producción de leche y carne, lo cual, junto con el alto porcentaje de fincas que opera con rendimientos decrecientes, confirma el carácter extensivo de los sistemas de producción de leche de la microrregión, caracterizados por una baja adopción de innovaciones tecnológicas. Lo anterior permite concluir que la eficiencia técnica global sería mayor al corregir el sobredimensionamiento de la escala de producción.

La definición de los conjuntos eficientes de referencia y el ranking de las fincas eficientes permitieron identificar a la finca número 151 como la más adecuada para estudiar sus prácticas de producción y adoptarlas en las unidades ineficientes. De esta finca se destacan la implementación de prácticas de inseminación artificial, la utilización de concentrado, sal mineral y praderas de *Brachiaria humidicola* junto con el King Grass morado como pasto de corte, lo que permite optimizar el uso del suelo y maximizar la productividad de la leche.

El análisis de las mejoras potenciales de las fincas ineficientes permitió determinar que las principales fuentes de ineficiencia en los *inputs* se derivan de la utilización de un alto número de animales y hectáreas en pastos, con porcentajes de reducción del 26% y 20%, respectivamente. Respecto a los *outputs*, se determinó que las mejoras potenciales se

derivan principalmente del incremento de la producción de carne y leche a partir del movimiento de las fincas hacia la frontera eficiente de producción.

Las mejoras asociadas con un desplazamiento a través de la frontera eficiente de producción mostraron que una mayor proporción de fincas (50%) pueden producir aún más carne, sin afectar los valores proyectados para la producción de leche con respecto al número de fincas que pueden incrementar aún más la producción de leche. Por lo tanto, estas fincas deberían orientar sus prácticas hacia el incremento de la producción de leche y carne y, adicionalmente, reducir la utilización de la superficie agraria útil y el inventario animal, factores que son difícilmente modificables en el corto plazo. En consecuencia, los productores deben planificar su proceso de producción en el largo plazo con el fin de optimizar la utilización de estos factores de producción.

El desarrollo de un modelo de regresión diseñado para estudiar las variables estructurales y funcionales que se relacionan con la eficiencia mostró una asociación con el uso del suelo, con una relación inversa debido a los grandes tamaños de las fincas. De este modo, las producciones deben estar orientadas a un mayor aprovechamiento de las praderas disponibles, implementando prácticas de rotación, fertilización y riego que permitan incrementar la productividad del hato y mejorar los niveles de eficiencia de la finca. Además, se evidenció que una mayor eficiencia no implica una mayor carga animal, sino que se relaciona con el mejoramiento de las características de los animales y de sus indicadores de desempeño. De otra parte, un factor crítico de la eficiencia de las fincas es una gestión tecnológica inadecuada del componente de reproducción, el cual genera un desbalance en la distribución del hato, con un mayor número de vacas secas y de hembras de reemplazo.

El estudio de la eficiencia y sus fuentes potenciales son aspectos fundamentales desde el punto de vista práctico, ya que los productores pueden utilizar esta información para mejorar su desempeño a partir de una mejor relación *outputs/inputs*. Adicionalmente, los organismos encargados de la formulación de políticas pueden utilizar este conocimiento para identificar y dirigir las estrategias de intervención para mejorar la productividad y competitividad del sector lácteo y cárnico a nivel regional

Este estudio permite corroborar la importancia y utilidad del análisis envolvente de datos (DEA) como herramienta para identificar áreas críticas en los sistemas de producción

agropecuarios y realizar estudios de benchmarking en procesos de investigación participativa en fincas, además de su facilidad de aplicación e interpretación de resultados y puesta en práctica por parte de los productores, ya que no requiere del aprendizaje de técnicas analíticas complejas.

3.2 Recomendaciones

Los resultados obtenidos muestran que existen brechas importantes en términos de productividad entre las unidades de producción eficientes e ineficientes. Sin embargo, se recomienda realizar futuras investigaciones de la eficiencia incluyendo variables de tipo económico y ambiental con el fin de examinar si las unidades de producción que son eficientes desde un punto de vista técnico lo son también en términos económicos y ambientales. Con esta segunda fase de la investigación se podrá visualizar de una manera integral el desempeño de las fincas y generar recomendaciones de mejora en todos los componentes tecnológicos y no tecnológicos que intervienen en el sistema de producción.

La ausencia de registros de producción constituye una limitante en la toma de decisiones, especialmente en sistemas con bajo nivel de especialización, para lo cual se recomienda la generación e implementación de programas de capacitación y apropiación de conocimiento dirigidos a brindar herramientas de gestión a los productores en torno a los diferentes componentes de la producción, partiendo de la importancia que tiene la generación de datos e información para la planificación y estructuración del proceso de producción.

Finalmente, se recomienda realizar futuras investigaciones para determinar las prácticas de gestión relacionadas con las áreas críticas identificadas, definiendo indicadores de desempeño para la microrregión y la formulación de estrategias de mejora a través de un proceso de benchmarking.

Anexo A: Conjuntos de referencia para las 196 unidades ineficientes

DMU	PEERS									
	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ
1	212	0.052	106	0.948						
2	6	0.287	60	0.509	151	0.204				
3	6	0.473	11	0.055	151	0.374	60	0.098		
4	112	0.095	12	0.592	60	0.313				
5	151	0.175	60	0.491	162	0.096	46	0.238		
7	106	0.639	212	0.060	151	0.301				
8	6	0.580	11	0.010	151	0.062	60	0.348		
9	11	0.591	183	0.090	112	0.318				
10	11	0.634	212	0.039	151	0.328				
14	162	0.397	128	0.033	151	0.510	132	0.061		
15	6	0.168	151	0.752	60	0.080				
16	6	0.516	11	0.093	151	0.102	60	0.289		
17	60	0.905	11	0.072	112	0.024				
18	60	0.396	151	0.319	6	0.285				
20	162	0.802	60	0.131	151	0.067				
21	106	0.066	11	0.730	212	0.175	151	0.029		
22	11	0.753	212	0.124	151	0.122				
23	128	0.035	106	0.194	151	0.771				
24	183	0.816	128	0.148	106	0.035				
25	11	0.105	60	0.326	6	0.568				
26	60	0.739	6	0.125	151	0.136				
29	60	0.632	151	0.259	162	0.109				
30	6	0.373	11	0.029	151	0.520	60	0.078		
31	6	0.004	11	0.216	151	0.780				
32	106	0.204	128	0.344	183	0.452				
33	60	0.824	11	0.049	112	0.127				
34	162	0.769	151	0.231						
35	60	0.682	112	0.080	11	0.239				

DMU	PEERS									
	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ
36	100	0.093	6	0.068	218	0.081	60	0.742	143	0.016
37	6	0.315	151	0.681	60	0.004				
38	60	0.073	162	0.610	27	0.317				
39	27	0.258	162	0.291	141	0.434	19	0.017		
40	162	0.167	128	0.084	151	0.750				
41	60	0.343	6	0.080	151	0.577				
42	151	0.219	46	0.353	132	0.102	162	0.112	60	0.213
43	6	0.338	151	0.389	60	0.273				
44	11	0.038	60	0.299	52	0.346	151	0.317		
45	11	0.327	212	0.105	151	0.568				
48	11	0.064	151	0.000	60	0.455	6	0.481		
49	11	0.146	212	0.051	151	0.803				
50	27	0.036	141	0.128	13	0.513	28	0.171	12	0.153
51	195	0.278	162	0.007	141	0.351	12	0.119	19	0.246
53	60	0.622	218	0.062	12	0.255	143	0.061		
54	11	0.212	6	0.089	151	0.699				
55	11	0.212	212	0.024	151	0.764				
56	27	0.222	12	0.011	141	0.025	195	0.689	162	0.054
57	151	0.093	106	0.073	11	0.630	52	0.052	183	0.152
58	162	0.273	151	0.189	60	0.538				
59	212	0.096	151	0.904						
61	112	0.038	60	0.725	12	0.237				
62	11	0.123	212	0.012	151	0.289	106	0.577		
63	60	0.451	6	0.008	151	0.540				
64	6	0.286	60	0.453	151	0.261				
65	162	0.041	27	0.818	19	0.142				
66	60	0.110	162	0.415	27	0.476				
67	60	0.676	6	0.253	151	0.070				
68	46	0.354	60	0.409	162	0.196	27	0.041		
69	11	0.406	60	0.459	112	0.135				
70	162	0.235	151	0.047	60	0.718				
71	143	0.201	60	0.642	46	0.010	28	0.147		
72	11	0.862	212	0.138						
73	60	0.147	143	0.186	46	0.034	28	0.633		
74	60	0.474	151	0.476	162	0.049				
75	60	0.387	11	0.304	6	0.309				
76	60	0.212	128	0.105	151	0.452	162	0.231		
77	212	0.043	151	0.957						
78	162	0.686	128	0.126	151	0.188				

DMU	PEERS									
	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ
79	60	0.770	132	0.026	162	0.204				
80	6	0.072	60	0.891	151	0.037				
81	151	0.053	132	0.300	128	0.043	162	0.305	60	0.299
82	60	0.813	112	0.130	11	0.057				
83	218	0.004	12	0.158	60	0.730	143	0.107		
84	162	0.336	60	0.580	151	0.084				
85	11	0.472	212	0.004	151	0.524				
86	60	0.207	162	0.561	27	0.232				
87	60	0.119	151	0.418	128	0.114	162	0.193	132	0.156
88	60	0.635	11	0.015	151	0.218	6	0.131		
89	106	0.382	11	0.199	151	0.232	183	0.186		
90	162	0.974	151	0.026						
91	11	0.781	212	0.182	151	0.037				
92	47	0.274	128	0.428	132	0.139	183	0.159		
93	183	0.331	60	0.134	132	0.398	47	0.137		
94	151	0.345	47	0.156	132	0.109	46	0.389		
95	47	0.449	46	0.080	143	0.201	183	0.270		
96	106	0.057	128	0.694	47	0.249				
97	6	0.772	11	0.116	151	0.112				
98	6	0.230	11	0.255	151	0.341	60	0.174		
99	60	0.704	13	0.041	27	0.255				
102	183	0.164	112	0.398	12	0.083	60	0.355		
103	143	0.015	46	0.874	47	0.111				
104	212	0.112	151	0.888						
105	60	0.476	112	0.048	11	0.477				
107	60	0.740	11	0.228	6	0.032				
108	132	0.018	47	0.165	46	0.817				
109	162	0.251	128	0.134	151	0.614				
110	60	0.705	6	0.013	151	0.282				
111	128	0.843	210	0.151	183	0.006				
113	11	0.049	52	0.154	151	0.776	60	0.021		
114	11	0.111	151	0.237	6	0.079	183	0.573		
115	6	0.199	60	0.772	151	0.029				
116	116	1.000								
117	6	0.720	11	0.042	151	0.105	60	0.133		
118	60	0.332	11	0.031	151	0.541	6	0.096		
119	162	0.514	132	0.047	128	0.102	151	0.338		
120	46	0.016	60	0.276	12	0.644	132	0.064		
121	106	0.614	212	0.083	151	0.177	11	0.127		

DMU	PEERS									
	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ
122	11	0.070	106	0.278	212	0.240	151	0.412		
123	183	0.341	6	0.215	151	0.157	218	0.287		
124	162	0.277	151	0.301	60	0.422				
125	27	0.106	141	0.216	162	0.001	12	0.478	46	0.200
126	162	0.410	151	0.590						
127	60	0.169	151	0.828	6	0.003				
129	27	0.143	162	0.857						
130	183	0.443	47	0.149	128	0.037	132	0.372		
131	11	0.245	106	0.046	151	0.624	183	0.085		
133	11	0.532	6	0.079	151	0.389				
135	151	0.410	46	0.392	47	0.163	132	0.034		
136	11	0.862	212	0.138						
137	143	0.048	47	0.114	151	0.169	46	0.625	183	0.045
138	162	0.163	46	0.565	151	0.069	60	0.202		
139	46	0.556	132	0.157	12	0.286				
140	128	0.425	183	0.490	132	0.085				
142	162	0.625	151	0.312	101	0.063				
144	162	0.186	151	0.569	128	0.001	60	0.243		
145	11	0.057	60	0.010	52	0.159	151	0.774		
146	6	0.326	60	0.624	151	0.050				
147	151	0.025	162	0.251	132	0.369	46	0.355		
148	47	0.106	128	0.219	106	0.358	183	0.317		
149	183	0.160	52	0.187	128	0.049	151	0.240	60	0.364
150	162	0.714	27	0.286						
152	183	0.016	60	0.696	12	0.288				
153	143	0.313	47	0.099	151	0.481	183	0.107		
154	60	0.521	143	0.074	46	0.270	28	0.135		
155	60	0.332	128	0.118	151	0.479	162	0.071		
156	132	0.003	151	0.421	128	0.221	60	0.348	183	0.007
157	11	0.262	212	0.111	151	0.246	106	0.381		
158	212	0.009	151	0.795	11	0.197				
159	162	0.222	151	0.657	60	0.121				
160	12	0.411	46	0.309	132	0.280				
161	6	0.177	60	0.559	151	0.264				
163	162	0.571	141	0.110	27	0.319				
164	6	0.355	151	0.470	60	0.175				
165	60	0.671	112	0.082	11	0.247				
166	60	0.039	128	0.053	151	0.500	162	0.408		
167	60	0.382	151	0.593	6	0.026				

DMU	PEERS									
	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ
168	6	0.149	151	0.786	60	0.065				
169	151	0.206	47	0.586	132	0.065	46	0.143		
170	6	0.102	60	0.527	151	0.371				
171	162	0.502	128	0.063	151	0.368	132	0.067		
172	212	0.008	151	0.796	11	0.196				
173	46	0.535	132	0.446	47	0.018				
174	52	0.202	11	0.324	151	0.080	60	0.394		
175	52	0.127	11	0.308	151	0.277	60	0.289		
176	162	0.590	151	0.410						
177	143	0.271	151	0.729						
178	6	0.284	151	0.232	143	0.484				
179	60	0.704	6	0.254	151	0.042				
180	11	0.624	212	0.332	151	0.044				
181	151	0.964	212	0.036						
182	151	0.217	46	0.140	132	0.155	162	0.182	60	0.305
184	47	0.003	46	0.195	151	0.044	132	0.758		
186	6	0.121	60	0.542	151	0.337				
188	218	0.467	143	0.215	12	0.318				
189	60	0.681	6	0.087	151	0.232				
190	151	0.037	132	0.289	46	0.247	162	0.426		
191	151	0.017	46	0.478	47	0.462	132	0.043		
192	11	0.267	106	0.481	183	0.252				
193	11	0.138	106	0.169	183	0.693				
194	212	0.030	151	0.970						
196	11	0.398	212	0.113	151	0.489				
197	210	0.026	128	0.190	183	0.784				
198	183	0.376	60	0.283	151	0.269	6	0.021	218	0.051
199	106	0.440	128	0.015	47	0.545				
200	212	0.076	151	0.502	11	0.422				
201	11	0.449	212	0.254	151	0.297				
202	47	0.360	128	0.408	132	0.232				
203	11	0.007	212	0.440	106	0.553				
204	6	0.527	143	0.197	218	0.275				
205	151	0.618	106	0.134	47	0.248				
206	11	0.681	151	0.311	6	0.008				
207	162	0.411	46	0.312	141	0.277				
208	151	0.104	47	0.446	106	0.451				
209	183	0.002	128	0.938	106	0.060				
211	11	0.431	106	0.016	212	0.148	151	0.406		

DMU	PEERS									
	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ	DMU	λ
213	60	0.548	46	0.098	143	0.180	28	0.173		
214	151	0.138	11	0.514	6	0.143	183	0.205		
215	60	0.502	143	0.085	46	0.016	12	0.396		
216	151	0.282	143	0.047	60	0.572	46	0.100		
217	11	0.074	6	0.874	183	0.040	218	0.012		
219	218	0.054	183	0.170	151	0.391	143	0.385		
220	151	0.096	106	0.098	128	0.046	47	0.233	183	0.527
221	212	0.189	151	0.553	11	0.258				
222	6	0.441	183	0.124	11	0.024	151	0.411		
223	162	0.462	151	0.538						
224	218	0.091	183	0.049	151	0.162	143	0.320	60	0.378

Anexo B: Valores observados en el consumo de inputs y la obtención de outputs en las 224 fincas analizadas

DMU	VALORES OBSERVADOS				
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA(UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
1	200	258	7.0	137939	19610
2	46	54	2.4	71202	3420
3	70	139	3.2	56812	3710
4	20	32	0.9	14274	1344
5	26	31	2.7	35970	1681
6	85	81	2.4	156780	8673
7	125	226	8.6	44352	5149
8	61	85	2.2	50117	3300
9	108	140	1.3	75551	6537
10	115	316	3.0	140440	9625
11	125	163	1.7	173474	14841
12	10	16	0.7	3992	1182
13	9	15	1.3	8975	327
14	40	48	5.2	26608	2525
15	58	96	4.2	88524	4345
16	67	112	2.3	52559	3566
17	29	72	1.4	26944	1476
18	50	89	2.8	110562	6051
19	8	10	5.2	9601	979
20	20	33	3.8	22825	1011
21	180	206	3.1	66716	5794
22	157	392	2.9	156432	10822
23	70	88	7.1	120640	10616
24	135	194	2.0	54381	10266
25	68	113	2.0	48957	2307
26	33	57	2.0	41351	3336

DMU	VALORES OBSERVADOS				
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA(UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
27	10	16	2.2	26509	1540
28	13	17	1.4	26957	1371
29	29	58	2.6	21315	1356
30	66	131	3.6	62054	4101
31	71	151	4.2	97970	6221
32	150	221	3.0	34686	8058
33	33	58	1.3	36176	3421
34	26	38	5.1	15881	1009
35	50	90	1.4	70754	4649
36	33	38	1.7	29922	2430
37	65	129	4.1	54156	3322
38	15	30	3.3	7599	496
39	12	12	3.8	12110	1136
40	50	87	6.4	19731	1703
41	46	52	3.5	47489	3091
42	30	33	3.3	19880	2168
43	56	93	3.1	31521	1948
44	51	95	2.9	27418	2711
45	120	165	4.2	183621	12064
46	20	10	3.2	63041	6175
47	90	46	4.4	99727	16301
48	58	117	1.9	75419	5344
49	86	171	4.6	61506	3445
50	10	14	1.5	8111	512
51	9	10	3.4	3808	329
52	65	117	2.5	124088	17204
53	24	28	1.4	29226	2548
54	74	83	4.0	114194	6942
55	80	164	4.3	87823	4747
56	9	16	3.0	12099	835
57	110	140	2.2	59666	5857
58	26	50	2.8	48906	2113
59	94	121	5.6	63897	3039
60	20	33	1.4	64359	6773
61	20	33	1.2	42910	2968
62	110	177	4.2	92491	10493
63	40	60	3.3	44087	2253
64	48	139	2.6	68936	4261

DMU	VALORES OBSERVADOS				
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA(UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
65	10	17	3.1	14770	979
66	14	24	2.9	34427	1526
67	39	66	1.9	26426	1629
68	19	22	2.6	31534	1776
69	71	130	1.4	75385	3740
70	21	36	2.2	18945	1625
71	27	26	2.0	53738	3076
72	201	346	2.6	115869	6883
73	23	18	2.0	33387	1672
74	37	72	3.2	33573	1881
75	72	132	1.8	69293	2911
76	40	77	3.9	52796	5376
77	80	73	5.2	89481	5720
78	30	88	5.9	56830	7383
79	20	35	2.0	10203	2549
80	26	38	1.6	19897	829
81	30	47	3.1	13225	2952
82	34	92	1.3	39223	1937
83	23	28	1.6	34282	2287
84	22	67	2.6	42863	3997
85	90	223	3.4	154168	8764
86	16	24	3.1	18875	1018
87	43	61	4.0	43702	5817
88	38	72	2.3	19028	1542
89	104	126	3.4	79097	9036
90	18	36	6.5	44618	2617
91	182	199	3.0	41664	2373
92	90	102	3.7	28585	9992
93	69	68	2.6	22755	5997
94	46	39	4.6	44569	4885
95	100	48	3.5	10649	1371
96	96	127	4.7	45625	18951
97	96	88	2.6	78424	2426
98	74	93	2.9	104727	7682
99	17	32	1.6	33184	2648
100	48	46	3.4	141818	4422
101	30	29	4.3	103967	2203
102	55	85	1.0	34739	3559

DMU	VALORES OBSERVADOS				
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA(UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
103	31	14	4.4	32066	3427
104	100	193	5.6	44894	2418
105	73	120	1.5	34863	2563
106	127	165	4.3	157839	23216
107	46	83	1.5	70894	5759
108	36	17	3.4	4779	857
109	47	87	5.2	55503	5527
110	31	44	2.4	21397	1010
111	130	172	3.7	27545	21540
112	82	88	0.5	59295	3082
113	60	120	4.3	46047	3598
114	142	90	2.4	76395	8545
115	34	62	1.7	32106	1758
116	96	117	0.6	38283	6035
117	75	131	2.5	60843	3745
118	49	76	3.4	24029	1777
119	36	50	5.5	27864	3290
120	70	24	1.1	9411	1707
121	153	164	4.4	71996	8396
122	175	315	5.3	154338	14053
123	312	70	2.2	29634	2719
124	30	45	3.2	51392	2458
125	12	12	1.9	18778	1992
126	40	77	7.5	92309	4867
127	50	75	4.3	47539	1887
128	62	153	4.2	36664	27713
129	16	29	4.2	11092	1184
130	74	78	2.7	28805	7638
131	369	92	3.8	45310	3693
132	44	69	3.3	10866	19810
133	95	192	3.0	85026	5439
134	17	30	4.4	23949	1371
135	47	38	4.3	87039	8176
136	180	254	2.6	59398	4412
137	39	26	3.6	14352	1375
138	22	20	3.1	48404	2487
139	30	21	2.5	2658	1533
140	85	115	2.8	25725	11102

DMU	VALORES OBSERVADOS				
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA(UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
141	10	3	3.2	21149	1662
142	30	34	4.4	12255	604
143	60	11	4.3	133131	5529
144	40	77	3.9	88059	6869
145	61	88	4.3	86556	6781
146	43	58	1.9	52798	3194
147	29	36	6.7	27960	6836
148	143	126	3.4	37126	7282
149	50	70	2.6	30718	3598
150	15	27	4.5	10441	685
151	56	59	4.9	187329	13022
152	75	29	1.2	5663	1760
153	98	46	4.3	26600	1998
154	22	23	2.1	17563	1302
155	42	66	3.6	36151	3697
156	45	71	3.5	28994	3724
157	145	272	4.2	55087	5578
158	73	92	4.3	73578	4938
159	43	48	4.3	37896	2301
160	25	29	2.2	6656	3805
161	41	49	2.5	17796	812
162	17	22	4.1	67874	7683
163	14	18	4.7	8300	340
164	60	66	3.4	42182	2178
165	51	99	1.4	47406	2896
166	39	55	4.4	37428	3382
167	43	50	3.5	97169	6857
168	58	63	4.3	49773	1450
169	70	45	4.3	13042	1760
170	40	52	2.8	63005	3256
171	36	47	4.4	60955	6733
172	74	82	4.3	57264	1851
173	32	37	5.0	13796	4553
174	66	119	2.0	102785	10136
175	68	94	2.6	39298	3466
176	33	51	9.3	70774	3133
177	69	46	7.1	102092	5757
178	97	42	3.9	17970	807

DMU	VALORES OBSERVADOS				
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA(UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
179	38	57	1.8	31920	1505
180	230	258	4.0	104480	8407
181	70	126	5.0	146962	1053
182	31	39	3.2	29548	3631
183	88	90	1.5	115507	18310
184	40	57	9.6	12687	7337
185	187	200	7.9	46319	29413
186	40	61	2.7	20124	1268
187	62	11	7.2	7611	288
188	254	28	1.8	21123	821
189	34	58	2.3	37606	2672
190	27	34	3.7	52288	10544
191	54	30	6.9	15623	2261
192	155	245	2.9	107310	13996
193	133	243	2.0	79243	11316
194	68	118	9.2	98681	3534
195	8	16	3.2	9340	482
196	128	166	4.0	102772	7613
197	95	199	2.0	65518	13434
198	60	63	2.4	25400	2705
199	280	100	5.5	46845	7354
200	115	139	3.8	72017	2751
201	187	211	4.3	84871	5926
202	160	95	5.9	14971	6109
203	366	515	6.0	93015	10269
204	244	57	2.5	19051	1023
205	83	70	4.7	37636	3540
206	136	130	2.7	41948	3084
207	16	13	8.4	18428	1645
208	278	101	5.2	49310	6969
209	150	248	4.2	41512	25825
210	134	97	1.0	11017	16762
211	145	192	4.0	81216	6360
212	450	382	8.2	215030	16542
213	26	24	2.1	36072	2260
214	200	122	2.2	66960	5992
215	29	24	1.4	36149	3468
216	32	37	2.7	21216	1657

DMU	VALORES OBSERVADOS				
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA(UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
217	94	87	2.3	30131	1836
218	86	44	1.4	95630	6169
219	70	45	3.9	99558	7115
220	88	87	2.9	25147	3849
221	156	147	4.7	88588	4291
222	328	75	3.3	27455	1969
223	38	72	8.1	32985	1813
224	48	34	2.9	12195	863

Anexo C: Valores proyectados en el consumo de inputs y la obtención de outputs de las 224 fincas analizadas

DMU	VALORES PROYECTADOS				
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
1	144	176	4.5	160840	22866
2	46	52	2.4	115946	8591
3	70	73	3.2	160118	10456
4	20	28	0.9	28162	3113
5	26	31	2.7	85862	7809
6	85	81	2.4	156780	8673
7	125	146	4.7	170131	19751
8	61	64	2.2	126698	8343
9	108	133	1.3	131895	11412
10	115	137	3.0	179623	14311
11	125	163	1.7	173474	14841
12	10	16	0.7	3992	1182
13	9	15	1.3	8975	327
14	40	48	4.5	124311	11797
15	58	61	4.2	172368	11791
16	67	73	2.3	134739	9142
17	29	44	1.4	72053	7263
18	50	55	2.8	129880	9305
19	8	10	5.2	9601	979
20	20	26	3.8	75400	7921
21	180	198	3.1	180101	15641
22	157	178	2.9	180338	14830
23	70	83	4.8	176326	15516
24	86	102	2.0	105306	19880
25	68	74	2.0	128379	8702
26	33	43	2.0	92589	7859

DMU	VALORES PROYECTADOS				
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
27	10	16	2.2	26509	1540
28	13	17	1.4	26957	1371
29	29	39	2.6	96597	8491
30	66	68	3.6	165888	10963
31	71	82	4.2	184224	13398
32	87	127	3.0	97044	22545
33	33	46	1.3	69020	6695
34	26	31	4.3	95441	8915
35	50	68	1.4	90005	8405
36	33	38	1.7	81455	6615
37	65	66	4.1	177260	11630
38	15	21	3.3	54501	5669
39	12	12	3.2	35913	3369
40	50	61	4.7	154805	13361
41	46	52	3.5	142748	10532
42	30	33	3.3	85826	9360
43	56	59	3.1	143472	9847
44	51	75	2.9	128142	12670
45	120	127	4.2	185708	13987
46	20	10	3.2	63041	6175
47	90	46	4.4	99727	16301
48	58	64	1.9	115805	8206
49	86	91	4.6	186709	13465
50	10	14	1.5	13468	850
51	9	10	3.4	13306	1150
52	65	117	2.5	124088	17204
53	24	28	1.4	55151	5235
54	73	83	4.0	181685	13022
55	80	89	4.3	185050	13491
56	9	16	3.0	16544	1142
57	110	140	2.2	162293	15931
58	26	35	2.8	88611	8205
59	94	90	5.2	190001	13361
60	20	33	1.4	64359	6773
61	20	31	1.2	49880	5309
62	110	137	4.2	168942	19166
63	40	47	3.3	131593	10166
64	48	54	2.6	122913	8948

DMU	VALORES PROYECTADOS				
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
65	10	15	2.7	25788	1709
66	14	20	2.9	47815	4661
67	39	47	1.9	96435	7695
68	19	22	2.6	63026	6525
69	71	93	1.4	107957	9548
70	21	32	2.2	71008	7283
71	27	26	2.0	72646	5722
72	170	193	2.6	179228	15077
73	23	18	2.0	53411	3101
74	37	45	3.2	123105	9794
75	72	87	1.8	126077	9813
76	40	55	3.9	117905	12006
77	73	73	5.0	188530	13175
78	30	45	4.3	86330	11215
79	20	32	2.0	63711	7292
80	26	37	1.6	75514	7138
81	30	47	3.1	54650	12199
82	34	48	1.3	69875	6750
83	23	28	1.6	62313	5752
84	22	31	2.6	75817	7601
85	90	109	3.4	180882	13894
86	16	23	3.1	57561	6071
87	43	61	4.0	104998	13976
88	38	47	2.3	105010	8510
89	103	126	3.4	159906	18268
90	18	23	4.1	70937	7820
91	181	199	3.0	181542	15083
92	71	102	3.7	62917	21993
93	62	68	2.6	64847	17090
94	46	39	4.0	105965	11614
95	78	48	3.5	107767	13874
96	73	127	4.3	59255	24613
97	86	88	2.6	162140	9874
98	74	86	2.9	155373	11397
99	17	28	1.6	52443	5175
100	48	46	3.4	141818	4422
101	30	29	4.3	103967	2203
102	55	63	1.0	65713	6732
103	28	14	3.4	68174	7286

DMU	VALORES PROYECTADOS				
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
104	100	95	5.3	190423	13415
105	73	98	1.5	116118	10442
106	127	165	4.3	157839	23216
107	46	64	1.5	92163	8673
108	32	17	3.4	68169	8091
109	47	62	4.6	137083	13651
110	31	41	2.4	100241	8560
111	73	144	3.7	33250	26001
112	82	88	0.5	59295	3082
113	60	72	4.3	174320	13621
114	84	90	2.4	142223	15908
115	34	43	1.7	86327	7331
116	96	117	0.6	38283	6035
117	75	76	2.5	148406	9135
118	49	56	3.4	143199	10590
119	36	50	4.3	102370	12087
120	15	24	1.1	22058	4001
121	141	164	4.4	169777	19799
122	175	173	5.3	184800	16827
123	82	70	2.2	129985	11927
124	30	38	3.2	102325	8905
125	12	12	1.9	21910	2324
126	40	44	4.6	138322	10832
127	50	55	4.3	166428	11951
128	62	153	4.2	36664	27713
129	16	21	3.8	61965	6805
130	71	78	2.7	71346	18918
131	79	92	3.8	176493	14385
132	44	69	3.3	10866	19810
133	95	116	3.0	177543	13646
134	17	22	4.1	67874	7683
135	47	38	4.1	118205	11104
136	170	193	2.6	179228	15077
137	39	26	3.6	93898	8996
138	22	20	3.1	72690	7015
139	21	21	2.5	37927	6891
140	73	115	2.8	73137	22434
141	10	3	3.2	21149	1662

DMU	VALORES PROYECTADOS				
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
142	30	34	4.4	107460	9009
143	60	11	4.3	133131	5529
144	40	46	3.9	134998	10530
145	61	74	4.3	175224	13727
146	43	50	1.9	100623	7703
147	29	36	3.5	48081	11755
148	96	126	3.4	111723	21914
149	50	70	2.6	111859	13102
150	15	20	3.6	56055	5928
151	56	59	4.9	187329	13022
152	18	29	1.2	47779	5344
153	64	46	4.3	154009	11568
154	22	23	2.1	64009	5789
155	42	59	3.6	120303	12303
156	45	71	3.5	110221	14157
157	145	163	4.2	175544	17775
158	73	82	4.3	184848	13410
159	43	48	4.3	145977	11083
160	23	29	2.2	24139	7943
161	41	48	2.5	113148	8757
162	17	22	4.1	67874	7683
163	14	18	3.4	49557	5064
164	60	62	3.4	154970	10385
165	51	70	1.4	90860	8460
166	39	48	4.4	125865	11373
167	43	50	3.5	139607	10525
168	58	61	4.3	174804	11968
169	70	45	4.3	106726	14402
170	40	48	2.8	119410	9284
171	36	47	4.3	106098	11719
172	73	82	4.3	184840	13407
173	32	37	3.3	40423	12448
174	66	94	2.0	121640	11995
175	68	91	2.6	139552	12308
176	33	37	4.4	116881	9873
177	57	46	4.7	172650	10993
178	66	42	3.9	152415	8159
179	38	46	1.8	92951	7516
180	230	231	4.0	187890	15327

DMU	VALORES PROYECTADOS				
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
181	70	70	5.0	188313	13147
182	31	39	3.2	83275	10233
183	88	90	1.5	115507	18310
184	40	57	3.4	29126	16844
185	187	200	7.9	46319	29413
186	40	48	2.7	116974	9108
187	60	11	4.3	133131	5529
188	56	28	1.8	74514	4444
189	34	43	2.3	100946	8390
190	27	34	3.7	54628	11016
191	54	30	3.8	79856	11557
192	117	146	2.9	151364	19742
193	100	113	2.0	130659	18658
194	68	69	5.0	188173	13129
195	8	16	3.2	9340	482
196	128	137	4.0	184949	14144
197	84	102	2.0	97815	20056
198	60	63	2.4	120210	12802
199	106	100	4.4	124332	19518
200	115	127	3.8	183584	14057
201	187	188	4.3	188136	14733
202	68	95	4.1	53356	21772
203	269	261	6.0	183138	20219
204	80	57	2.5	135287	7363
205	74	70	4.7	161638	15204
206	103	130	2.7	177637	14224
207	16	13	3.6	53442	5547
208	103	101	4.4	134998	19079
209	66	154	4.2	44081	27423
210	134	97	1.0	11017	16762
211	145	153	4.0	184987	14486
212	450	382	8.2	215030	16542
213	26	24	2.1	70153	5555
214	102	122	2.2	161127	14419
215	19	24	1.4	46281	4440
216	32	37	2.7	102052	8415
217	88	87	2.3	155634	9483
218	86	44	1.4	95630	6169

DMU	VALORES PROYECTADOS				
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
219	65	45	3.9	149268	10668
220	88	87	2.9	119216	18247
221	148	147	4.7	189004	14158
222	74	75	3.3	164608	11805
223	38	42	4.5	132196	10558
224	48	34	2.9	111675	7903

Anexo D: Holguras el consumo de inputs y outputs y movimiento radial de outputs de las 224 fincas analizadas

DMU	HOLGURA			HOLGURA		MOVIMIENTO RADIAL	
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
1	56	82	2.5	0	0	22901	3256
2	0	2	0.0	0	3022	44744	2149
3	0	66	0.0	0	0	103307	6746
4	0	4	0.0	0	461	13889	1308
5	0	0	0.0	0	3797	49892	2332
6	0	0	0.0	0	0	0	0
7	0	80	3.9	0	0	125780	14603
8	0	21	0.0	0	0	76581	5042
9	0	7	0.0	0	0	56344	4875
10	0	179	0.0	0	2001	39182	2686
11	0	0	0.0	0	0	0	0
12	0	0	0.0	0	0	0	0
13	0	0	0.0	0	0	0	0
14	0	0	0.7	0	0	97704	9271
15	0	35	0.0	0	3331	83844	4115
16	0	39	0.0	0	0	82179	5575
17	0	28	0.0	0	3316	45108	2471
18	0	34	0.0	0	2197	19318	1057
19	0	0	0.0	0	0	0	0
20	0	7	0.0	0	4581	52575	2328
21	0	8	0.0	0	0	113385	9847
22	0	214	0.0	0	2354	23907	1654
23	0	5	2.3	0	0	55686	4900
24	49	92	0.0	0	0	50925	9614
25	0	39	0.0	0	2653	79422	3743
26	0	14	0.0	0	389	51239	4133

DMU	HOLGURA			HOLGURA		MOVIMIENTO RADIAL	
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
27	0	0	0.0	0	0	0	0
28	0	0	0.0	0	0	0	0
29	0	19	0.0	0	2345	75281	4789
30	0	63	0.0	0	0	103834	6862
31	0	69	0.0	0	1700	86254	5477
32	63	94	0.0	0	0	62358	14486
33	0	12	0.0	0	168	32844	3106
34	0	7	0.8	0	2851	79559	5055
35	0	22	0.0	0	2491	19251	1265
36	0	0	0.0	0	0	51533	4185
37	0	63	0.0	0	756	123104	7551
38	0	9	0.0	0	2111	46903	3062
39	0	0	0.6	0	0	23803	2233
40	0	26	1.7	0	0	135074	11659
41	0	0	0.0	0	1240	95259	6200
42	0	0	0.0	0	0	65946	7192
43	0	34	0.0	0	980	111951	6918
44	0	20	0.0	0	0	100724	9959
45	0	38	0.0	0	1786	2088	137
46	0	0	0.0	0	0	0	0
47	0	0	0.0	0	0	0	0
48	0	53	0.0	0	0	40386	2861
49	0	80	0.0	0	3008	125203	7013
50	0	0	0.0	0	0	5357	338
51	0	0	0.0	0	0	9498	821
52	0	0	0.0	0	0	0	0
53	0	0	0.0	0	427	25925	2260
54	1	0	0.0	0	1977	67490	4102
55	0	75	0.0	0	3489	97227	5255
56	0	0	0.0	0	0	4445	307
57	0	0	0.0	0	0	102627	10074
58	0	15	0.0	0	4377	39705	1716
59	0	31	0.4	0	4325	126103	5998
60	0	0	0.0	0	0	0	0
61	0	2	0.0	0	1859	6970	482
62	0	40	0.0	0	0	76451	8673
63	0	13	0.0	0	3441	87506	4472
64	0	85	0.0	0	1351	53977	3336

DMU	HOLGURA			HOLGURA		MOVIMIENTO RADIAL	
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
65	0	2	0.4	0	0	11018	731
66	0	4	0.0	0	2542	13387	594
67	0	19	0.0	0	1750	70008	4316
68	0	0	0.0	0	2975	31492	1774
69	0	37	0.0	0	4192	32572	1616
70	0	4	0.0	0	1192	52063	4465
71	0	0	0.0	0	1564	18908	1082
72	31	153	0.0	0	4430	63359	3763
73	0	0	0.0	0	426	20023	1002
74	0	27	0.0	0	2897	89533	5016
75	0	45	0.0	0	4517	56784	2385
76	0	22	0.0	0	0	65109	6629
77	7	0	0.2	0	1123	99049	6331
78	0	43	1.6	0	0	29500	3833
79	0	3	0.0	34524	0	18984	4743
80	0	1	0.0	0	3992	55617	2317
81	0	0	0.0	0	0	41425	9246
82	0	44	0.0	0	3299	30652	1514
83	0	0	0.0	0	1595	28031	1870
84	0	36	0.0	0	531	32953	3073
85	0	114	0.0	0	3611	26714	1519
86	0	1	0.0	0	2966	38686	2087
87	0	0	0.0	0	0	61297	8159
88	0	25	0.0	0	0	85981	6968
89	1	0	0.0	0	0	80809	9232
90	0	13	2.4	0	3659	26319	1544
91	0	0	0.0	0	4744	139878	7967
92	19	0	0.0	0	0	34332	12001
93	7	0	0.0	0	0	42091	11093
94	0	0	0.6	0	0	61396	6729
95	22	0	0.0	0	0	97117	12504
96	23	0	0.4	0	0	13630	5662
97	10	0	0.0	0	4858	83716	2590
98	0	7	0.0	0	0	50646	3715
99	0	4	0.0	0	990	19258	1536
100	0	0	0.0	0	0	0	0
101	0	0	0.0	0	0	0	0
102	0	22	0.0	0	0	30975	3174

DMU	HOLGURA			HOLGURA		MOVIMIENTO RADIAL	
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
103	3	0	1.1	0	0	36108	3859
104	0	98	0.3	0	3159	145529	7838
105	0	22	0.0	0	1905	81255	5974
106	0	0	0.0	0	0	0	0
107	0	19	0.0	0	1186	21269	1728
108	4	0	0.0	23050	0	40340	7234
109	0	25	0.6	0	0	81580	8124
110	0	3	0.0	0	3828	78844	3722
111	57	28	0.0	0	0	5704	4461
112	0	0	0.0	0	0	0	0
113	0	48	0.0	0	0	128272	10023
114	58	0	0.0	0	0	65829	7363
115	0	19	0.0	0	2605	54220	2969
116	0	0	0.0	0	0	0	0
117	0	55	0.0	0	0	87564	5390
118	0	20	0.0	0	0	119170	8813
119	0	0	1.2	0	0	74506	8797
120	55	0	0.0	0	0	12646	2294
121	12	0	0.0	0	0	97781	11403
122	0	142	0.0	0	0	30462	2774
123	230	0	0.0	0	0	100352	9207
124	0	7	0.0	0	4011	50933	2437
125	0	0	0.0	0	0	3131	333
126	0	33	2.9	0	3539	46013	2426
127	0	20	0.0	0	5345	118889	4719
128	0	0	0.0	0	0	0	0
129	0	8	0.4	0	191	50873	5430
130	3	0	0.0	0	0	42542	11280
131	290	0	0.0	0	0	131182	10692
132	0	0	0.0	0	0	0	0
133	0	76	0.0	0	2289	92517	5919
134	0	8	0.3	0	3797	43925	2515
135	0	0	0.2	0	0	31166	2928
136	10	61	0.0	0	1764	119830	8901
137	0	0	0.0	0	0	79546	7620
138	0	0	0.0	0	3281	24285	1248
139	9	0	0.0	25980	0	9289	5358
140	12	0	0.0	21155	0	26257	11332

DMU	HOLGURA			HOLGURA		MOVIMIENTO RADIAL	
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
141	0	0	0.0	0	0	0	0
142	0	0	0.0	0	3713	95205	4692
143	0	0	0.0	0	0	0	0
144	0	31	0.0	0	0	46940	3661
145	0	14	0.0	0	0	88668	6947
146	0	8	0.0	0	1616	47825	2893
147	0	0	3.2	0	0	20121	4920
148	47	0	0.0	0	0	74598	14632
149	0	0	0.0	0	0	81141	9504
150	0	7	0.9	0	2250	45615	2992
151	0	0	0.0	0	0	0	0
152	57	0	0.0	30584	0	11533	3585
153	34	0	0.0	0	0	127410	9570
154	0	0	0.0	0	1044	46446	3443
155	0	7	0.0	0	0	84152	8606
156	0	0	0.0	0	0	81227	10433
157	0	109	0.0	0	0	120457	12197
158	0	10	0.0	0	1005	111270	7467
159	0	0	0.0	0	2219	108082	6563
160	2	0	0.0	10245	0	7238	4137
161	0	1	0.0	0	3595	95352	4351
162	0	0	0.0	0	0	0	0
163	0	0	1.3	0	3034	41258	1690
164	0	4	0.0	0	2383	112788	5824
165	0	29	0.0	0	2909	43453	2655
166	0	7	0.0	0	0	88437	7991
167	0	0	0.0	0	674	42438	2995
168	0	2	0.0	0	6875	125031	3642
169	0	0	0.0	0	0	93683	12643
170	0	4	0.0	0	3113	56405	2915
171	0	0	0.1	0	0	45143	4986
172	1	0	0.0	0	7432	127576	4124
173	0	0	1.7	2705	0	23923	7895
174	0	25	0.0	0	0	18855	1860
175	0	3	0.0	0	0	100254	8842
176	0	14	4.9	0	4699	46107	2041
177	12	0	2.4	0	1257	70559	3979
178	31	0	0.0	0	1315	134445	6038

DMU	HOLGURA			HOLGURA		MOVIMIENTO RADIAL	
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
179	0	11	0.0	0	3134	61032	2878
180	0	27	0.0	0	208	83410	6712
181	0	56	0.1	0	11798	41351	297
182	0	0	0.0	0	0	53726	6603
183	0	0	0.0	0	0	0	0
184	0	0	6.2	0	0	16439	9507
185	0	0	0.0	0	0	0	0
186	0	13	0.0	0	1737	96850	6102
187	2	0	2.9	0	491	125520	4750
188	198	0	0.0	0	1548	53392	2076
189	0	15	0.0	0	1217	63339	4500
190	0	0	0.0	0	0	2339	472
191	0	0	3.1	0	0	64233	9295
192	38	99	0.0	0	0	44054	5745
193	33	130	0.0	0	0	51416	7342
194	0	49	4.2	0	6390	89491	3204
195	0	0	0.0	0	0	0	0
196	0	29	0.0	0	443	82176	6087
197	11	97	0.0	0	0	32298	6622
198	0	0	0.0	0	0	94810	10097
199	174	0	1.1	0	0	77487	12164
200	0	12	0.0	0	7044	111566	4262
201	0	23	0.0	0	1596	103264	7211
202	92	0	1.8	0	0	38385	15663
203	97	254	0.0	0	0	90123	9950
204	164	0	0.0	0	99	116236	6242
205	9	0	0.1	0	0	124002	11663
206	33	0	0.0	0	1164	135690	9976
207	0	0	4.8	0	776	35014	3126
208	175	0	0.8	0	0	85688	12110
209	84	94	0.0	0	0	2570	1598
210	0	0	0.0	0	0	0	0
211	0	39	0.0	0	0	103771	8126
212	0	0	0.0	0	0	0	0
213	0	0	0.0	0	1159	34081	2136
214	98	0	0.0	0	0	94167	8427
215	10	0	0.0	0	0	10132	972
216	0	0	0.0	0	444	80836	6313

DMU	HOLGURA			HOLGURA		MOVIMIENTO RADIAL	
	INPUT: ÁREA (HA)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO	OUTPUT: LECHE KG/AÑO	OUTPUT: CARNE KG/AÑO
217	6	0	0.0	0	0	125503	7648
218	0	0	0.0	0	0	0	0
219	5	0	0.0	0	0	49710	3552
220	0	0	0.0	0	0	94069	14398
221	8	0	0.0	0	5003	100416	4864
222	254	0	0.0	0	0	137153	9836
223	0	30	3.6	0	3292	99211	5453
224	0	0	0.0	0	0	99480	7040

Anexo E: Porcentajes de mejora potencial en el consumo de inputs y obtención de outputs de las 224 fincas analizadas

DMU	INPUT: ÁREA (HA) (%)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS) (%)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA) (%)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO		OUTPUT: CARNE KG/AÑO		MEJORA POTENCIAL TOTAL (%)	
				HOLGURA (%)	MOVIMIENTO RADIAL (%)	HOLGURA (%)	MOVIMIENTO RADIAL (%)	LECHE KG/AÑO	CARNE KG/AÑO
1	-39	-46	-56	0	14	0	14	14	14
2	0	-5	0	0	39	35	25	39	60
3	0	-92	0	0	65	0	65	65	65
4	0	-14	0	0	49	15	42	49	57
5	0	0	0	0	58	49	30	58	78
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	-54	-82	0	74	0	74	74	74
8	0	-34	0	0	60	0	60	60	60
9	0	-6	0	0	43	0	43	43	43
10	0	-130	0	0	22	14	19	22	33
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	-16	0	79	0	79	79	79
15	0	-58	0	0	49	28	35	49	63
16	0	-55	0	0	61	0	61	61	61
17	0	-64	0	0	63	46	34	63	80
18	0	-62	0	0	15	24	11	15	35
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	-27	0	0	70	58	29	70	87
21	0	-4	0	0	63	0	63	63	63
22	0	-121	0	0	13	16	11	13	27
23	0	-7	-49	0	32	0	32	32	32
24	-58	-90	0	0	48	0	48	48	48
25	0	-52	0	0	62	30	43	62	73
26	0	-35	0	0	55	5	53	55	58

DMU	INPUT: ÁREA (HA) (%)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS) (%)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA) (%)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO		OUTPUT: CARNE KG/AÑO		MEJORA POTENCIAL TOTAL (%)	
				HOLGURA (%)	MOVIMIENTO RADIAL (%)	HOLGURA (%)	MOVIMIENTO RADIAL (%)	LECHE KG/AÑO	CARNE KG/AÑO
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	-50	0	0	78	28	56	78	84
30	0	-92	0	0	63	0	63	63	63
31	0	-85	0	0	47	13	41	47	54
32	-72	-74	0	0	64	0	64	64	64
33	0	-24	0	0	48	3	46	48	49
34	0	-23	-20	0	83	32	57	83	89
35	0	-31	0	0	21	30	15	21	45
36	0	0	0	0	63	0	63	63	63
37	0	-96	0	0	69	7	65	69	71
38	0	-44	0	0	86	37	54	86	91
39	0	0	-17	0	66	0	66	66	66
40	0	-43	-36	0	87	0	87	87	87
41	0	0	0	0	67	12	59	67	71
42	0	0	0	0	77	0	77	77	77
43	0	-57	0	0	78	10	70	78	80
44	0	-26	0	0	79	0	79	79	79
45	0	-30	0	0	1	13	1	1	14
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	0	-81	0	0	35	0	35	35	35
49	0	-89	0	0	67	22	52	67	74
50	0	0	0	0	40	0	40	40	40
51	0	0	0	0	71	0	71	71	71
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	0	0	0	0	47	8	43	47	51
54	-1	0	0	0	37	15	32	37	47
55	0	-84	0	0	53	26	39	53	65
56	0	0	0	0	27	0	27	27	27
57	0	0	0	0	63	0	63	63	63
58	0	-43	0	0	45	53	21	45	74
59	0	-34	-8	0	66	32	45	66	77
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	0	-5	0	0	14	35	9	14	44
62	0	-29	0	0	45	0	45	45	45
63	0	-26	0	0	66	34	44	66	78
64	0	-159	0	0	44	15	37	44	52

DMU	INPUT: ÁREA (HA) (%)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS) (%)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA) (%)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO		OUTPUT: CARNE KG/AÑO		MEJORA POTENCIAL TOTAL (%)	
				HOLGURA (%)	MOVIMIENTO RADIAL (%)	HOLGURA (%)	MOVIMIENTO RADIAL (%)	LECHE KG/AÑO	CARNE KG/AÑO
65	0	-10	-16	0	43	0	43	43	43
66	0	-17	0	0	28	55	13	28	67
67	0	-41	0	0	73	23	56	73	79
68	0	0	0	0	50	46	27	50	73
69	0	-39	0	0	30	44	17	30	61
70	0	-13	0	0	73	16	61	73	78
71	0	0	0	0	26	27	19	26	46
72	-18	-79	0	0	35	29	25	35	54
73	0	0	0	0	37	14	32	37	46
74	0	-59	0	0	73	30	51	73	81
75	0	-51	0	0	45	46	24	45	70
76	0	-40	0	0	55	0	55	55	55
77	-9	0	-4	0	53	9	48	53	57
78	0	-93	-39	0	34	0	34	34	34
79	0	-10	0	54	30	0	65	84	65
80	0	-1	0	0	74	56	32	74	88
81	0	0	0	0	76	0	76	76	76
82	0	-94	0	0	44	49	22	44	71
83	0	0	0	0	45	28	33	45	60
84	0	-111	0	0	43	7	40	43	47
85	0	-104	0	0	15	26	11	15	37
86	0	-5	0	0	67	49	34	67	83
87	0	0	0	0	58	0	58	58	58
88	0	-53	0	0	82	0	82	82	82
89	-1	0	0	0	51	0	51	51	51
90	0	-58	-59	0	37	47	20	37	67
91	-1	0	0	0	77	31	53	77	84
92	-26	0	0	0	55	0	55	55	55
93	-12	0	0	0	65	0	65	65	65
94	0	0	-15	0	58	0	58	58	58
95	-28	0	0	0	90	0	90	90	90
96	-32	0	-10	0	23	0	23	23	23
97	-11	0	0	0	52	49	26	52	75
98	0	-9	0	0	33	0	33	33	33
99	0	-16	0	0	37	19	30	37	49
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101	0	0	0	0	0	0	0	0	0
102	0	-35	0	0	47	0	47	47	47

DMU	INPUT: ÁREA (HA) (%)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS) (%)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA) (%)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO		OUTPUT: CARNE KG/AÑO		MEJORA POTENCIAL TOTAL (%)	
				HOLGURA (%)	MOVIMIENTO RADIAL (%)	HOLGURA (%)	MOVIMIENTO RADIAL (%)	LECHE KG/AÑO	CARNE KG/AÑO
103	-9	0	-32	0	53	0	53	53	53
104	0	-102	-5	0	76	24	58	76	82
105	0	-23	0	0	70	18	57	70	75
106	0	0	0	0	0	0	0	0	0
107	0	-29	0	0	23	14	20	23	34
108	-13	0	0	34	59	0	89	93	89
109	0	-40	-13	0	60	0	60	60	60
110	0	-6	0	0	79	45	43	79	88
111	-78	-19	0	0	17	0	17	17	17
112	0	0	0	0	0	0	0	0	0
113	0	-66	0	0	74	0	74	74	74
114	-69	0	0	0	46	0	46	46	46
115	0	-44	0	0	63	36	41	63	76
116	0	0	0	0	0	0	0	0	0
117	0	-73	0	0	59	0	59	59	59
118	0	-35	0	0	83	0	83	83	83
119	0	0	-27	0	73	0	73	73	73
120	-363	0	0	0	57	0	57	57	57
121	-9	0	0	0	58	0	58	58	58
122	0	-82	0	0	16	0	16	16	16
123	-282	0	0	0	77	0	77	77	77
124	0	-18	0	0	50	45	27	50	72
125	0	0	0	0	14	0	14	14	14
126	0	-75	-64	0	33	33	22	33	55
127	0	-37	0	0	71	45	39	71	84
128	0	0	0	0	0	0	0	0	0
129	0	-38	-9	0	82	3	80	82	83
130	-4	0	0	0	60	0	60	60	60
131	-368	0	0	0	74	0	74	74	74
132	0	0	0	0	0	0	0	0	0
133	0	-65	0	0	52	17	43	52	60
134	0	-36	-8	0	65	49	33	65	82
135	0	0	-6	0	26	0	26	26	26
136	-6	-31	0	0	67	12	59	67	71
137	0	0	0	0	85	0	85	85	85
138	0	0	0	0	33	47	18	33	65
139	-43	0	0	68	24	0	78	93	78
140	-16	0	0	29	36	0	51	65	51

DMU	INPUT: ÁREA (HA) (%)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS) (%)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA) (%)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO		OUTPUT: CARNE KG/AÑO		MEJORA POTENCIAL TOTAL (%)	
				HOLGURA (%)	MOVIMIENTO RADIAL (%)	HOLGURA (%)	MOVIMIENTO RADIAL (%)	LECHE KG/AÑO	CARNE KG/AÑO
141	0	0	0	0	0	0	0	0	0
142	0	0	0	0	89	41	52	89	93
143	0	0	0	0	0	0	0	0	0
144	0	-67	0	0	35	0	35	35	35
145	0	-19	0	0	51	0	51	51	51
146	0	-17	0	0	48	21	38	48	59
147	0	0	-91	0	42	0	42	42	42
148	-48	0	0	0	67	0	67	67	67
149	0	0	0	0	73	0	73	73	73
150	0	-32	-27	0	81	38	50	81	88
151	0	0	0	0	0	0	0	0	0
152	-312	0	0	64	24	0	67	88	67
153	-53	0	0	0	83	0	83	83	83
154	0	0	0	0	73	18	59	73	78
155	0	-13	0	0	70	0	70	70	70
156	0	0	0	0	74	0	74	74	74
157	0	-67	0	0	69	0	69	69	69
158	0	-12	0	0	60	7	56	60	63
159	0	0	0	0	74	20	59	74	79
160	-11	0	0	42	30	0	52	72	52
161	0	-2	0	0	84	41	50	84	91
162	0	0	0	0	0	0	0	0	0
163	0	0	-37	0	83	60	33	83	93
164	0	-5	0	0	73	23	56	73	79
165	0	-42	0	0	48	34	31	48	66
166	0	-14	0	0	70	0	70	70	70
167	0	0	0	0	30	6	28	30	35
168	0	-4	0	0	72	57	30	72	88
169	0	0	0	0	88	0	88	88	88
170	0	-9	0	0	47	34	31	47	65
171	0	0	0	0	43	0	43	43	43
172	-2	0	0	0	69	55	31	69	86
173	0	0	-54	7	59	0	63	66	63
174	0	-26	0	0	16	0	16	16	16
175	0	-3	0	0	72	0	72	72	72
176	0	-37	-110	0	39	48	21	39	68
177	-21	0	-50	0	41	11	36	41	48
178	-47	0	0	0	88	16	74	88	90

DMU	INPUT: ÁREA (HA) (%)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS) (%)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA) (%)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO		OUTPUT: CARNE KG/AÑO		MEJORA POTENCIAL TOTAL (%)	
				HOLGURA (%)	MOVIMIENTO RADIAL (%)	HOLGURA (%)	MOVIMIENTO RADIAL (%)	LECHE KG/AÑO	CARNE KG/AÑO
179	0	-23	0	0	66	42	38	66	80
180	0	-12	0	0	44	1	44	44	45
181	0	-78	0	0	22	90	2	22	92
182	0	0	0	0	65	0	65	65	65
183	0	0	0	0	0	0	0	0	0
184	0	0	-187	0	56	0	56	56	56
185	0	0	0	0	0	0	0	0	0
186	0	-27	0	0	83	19	67	83	86
187	-3	0	-68	0	94	9	86	94	95
188	-352	0	0	0	72	35	47	72	82
189	0	-34	0	0	63	15	54	63	68
190	0	0	0	0	4	0	4	4	4
191	0	0	-81	0	80	0	80	80	80
192	-33	-68	0	0	29	0	29	29	29
193	-33	-116	0	0	39	0	39	39	39
194	0	-72	-84	0	48	49	24	48	73
195	0	0	0	0	0	0	0	0	0
196	0	-21	0	0	44	3	43	44	46
197	-13	-95	0	0	33	0	33	33	33
198	0	0	0	0	79	0	79	79	79
199	-165	0	-26	0	62	0	62	62	62
200	0	-9	0	0	61	50	30	61	80
201	0	-12	0	0	55	11	49	55	60
202	-136	0	-45	0	72	0	72	72	72
203	-36	-98	0	0	49	0	49	49	49
204	-204	0	0	0	86	1	85	86	86
205	-12	0	0	0	77	0	77	77	77
206	-32	0	0	0	76	8	70	76	78
207	0	0	-135	0	66	14	56	66	70
208	-169	0	-17	0	63	0	63	63	63
209	-127	-61	0	0	6	0	6	6	6
210	0	0	0	0	0	0	0	0	0
211	0	-25	0	0	56	0	56	56	56
212	0	0	0	0	0	0	0	0	0
213	0	0	0	0	49	21	38	49	59
214	-96	0	0	0	58	0	58	58	58
215	-49	0	0	0	22	0	22	22	22
216	0	0	0	0	79	5	75	79	80

DMU	INPUT: ÁREA (HA) (%)	INPUT: INVENTARIO ANIMAL (UFS) (%)	INPUT: MANO DE OBRA (UTA) (%)	OUTPUT: LECHE KG/AÑO		OUTPUT: CARNE KG/AÑO		MEJORA POTENCIAL TOTAL (%)	
				HOLGURA (%)	MOVIMIENTO RADIAL (%)	HOLGURA (%)	MOVIMIENTO RADIAL (%)	LECHE KG/AÑO	CARNE KG/AÑO
217	-7	0	0	0	81	0	81	81	81
218	0	0	0	0	0	0	0	0	0
219	-8	0	0	0	33	0	33	33	33
220	0	0	0	0	79	0	79	79	79
221	-5	0	0	0	53	35	34	53	70
222	-341	0	0	0	83	0	83	83	83
223	0	-72	-79	0	75	31	52	75	83
224	0	0	0	0	89	0	89	89	89

Bibliografía

- Adenuga, A., Davis, J., Hutchinson, G., Patton, M., & Donnellan, T. (2020). Modelling environmental technical efficiency and phosphorus pollution abatement cost in dairy farms. *Science of the Total Environment*, 714, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136690>
- Afriat, S. N. (1972). Efficiency Estimation of Production Functions. *International Economic Review*, 13(3), 568–598. <https://doi.org/10.2307/2525845>
- Albarrán-Portillo, B., Rebollar-Rebollar, S., García-Martínez, A., Rojo-Rubio, R., Avilés-Nova, F., & Arriaga-Jordán, C. M. (2015). Socioeconomic and productive characterization of dual-purpose farms oriented to milk production in a subtropical region of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 47, 519–523. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0753-8>
- Ali, A. I. y Seiford, L.M. (1993). The Mathematical Programming Approach to Efficiency Analysis. En H. Fried, C. K. Lovell, & S. Schmidt (Eds.), *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications* (pp. 120-158). New York: Oxford University Press, Inc.
- Allendorf, J. J., & Wettemann, P. J. C. (2015). Does animal welfare influence dairy farm efficiency? A two-stage approach. *Journal of Dairy Science*, 98, 7730–7740. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9390>
- Álvarez, A. (2013). Concepto y medición de la eficiencia productiva. En Álvarez, A. (Ed.), *La medición de la eficiencia y la productividad* (pp.17-34). Madrid: Ediciones pirámide grupo Anaya S.A.
- Angón, E. (2013). *Nivel de competitividad y eficiencia de la producción ganadera (Tesis de Doctorado)*. Dialnet.
- Arzubi, A. (2003). *Análisis de eficiencia sobre explotaciones lecheras de la Argentina (Tesis de Doctorado)*. Dialnet.
- Arzubi, A., & Berbel, V. (2002a). Determinación de índices de eficiencia mediante DEA en explotaciones lecheras de Buenos Aires. *Investigación Agraria: Producción y Sanidad Animal*, 17, 103–124. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=287798>
- Arzubi, & Berbel. (2002b). Un análisis no paramétrico de eficiencia en explotaciones lecheras de Argentina. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 193, 119–142. Retrieved from <https://ageconsearch.umn.edu/record/165082/>

- Ayaviri, N., & Silverio, L. (2004). *El Análisis Envolvente de Datos aplicado en la medición y evaluación de la eficiencia de los Municipios de Bolivia*. Banco Central de Bolivia. Retrieved from <https://www.bcb.gob.bo/eeb/sites/default/files/6eeb/docs/sesiones%20paralelas/6EEB%20SP-05-3.pdf>
- Banker, R., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30(9), 1078–1092. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- Banker, R. D., & Thrall, R. M. (1992). Estimation of returns to scale using data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 62(1), 74–84. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90178-C](https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90178-C)
- Barnes, A. P. (2006). Does multi-functionality affect technical efficiency? A non-parametric analysis of the Scottish dairy industry. *Journal of Environmental Management*, 80, 287–294. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.09.020>
- Bautista, Y., Espinosa, J. A., Herrera, J. G., Martínez, F. E., Vaquera, H., Estrada, B., & Granados, L. D. (2019). Technical optimum milk and meat production levels in dual-purpose cattle systems in tropical Mexico. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 10(4), 933–950. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i4.4927>
- Bernet, T., Thiele, G., & Zschocke, T. (Ed.). (2006). *Participatory Market Chain Approach (PMCA) - User Guide*. Lima: International Potato Center (CIP) - Papa Andina.
- Berre, D., Blancard, S., Boussemart, J., Leleu, H., & Tillard, E. (2014). Finding the right compromise between productivity and environmental efficiency on high input tropical dairy farms : A case study. *Journal of Environmental Management*, 146, 235–244. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.008>
- Berton, M., Bittante, G., Zendri, F., Ramanzin, M., Schiavon, S., & Sturaro, E. (2020). Environmental impact and efficiency of use of resources of different mountain dairy farming systems. *Agricultural Systems*, 181, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102806>
- Bhutta, K., Huq, F. (1999). Benchmarking-best practices: an integrated approach. *Benchmarking: An International Journal*, 6(3), 254-268. Retrieved from <https://www.deepdyve.com/lp/emerald-publishing/benchmarking-best-practices-an-integrated-approach-5AlexY4VXI>
- Bogetoft, P. (2013). *Performance Benchmarking: Measuring and Managing Performance. Media*. New York: Springer Science+Business Media New York 2012. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-31371-4>
- Bogetoft, P., & Otto, L. (2011). *Benchmarking with DEA, SFA, and R. International Series in Operations Research & Management Science* (Vol. 157). <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7961-2> U6 - <http://www.worldcat.org/oclc/695386913> M4 - Citavi
- Boubacar, O., Hui-qiu, Z., Rana, M. A., & Ghazanfar, S. (2016). Analysis on Technical

- Efficiency of Rice Farms and Its Influencing Factors in South-western of Niger. *Journal of Northeast Agricultural University (English Edition)*, 23(4), 67–77. [https://doi.org/10.1016/s1006-8104\(17\)30009-0](https://doi.org/10.1016/s1006-8104(17)30009-0)
- Cabrera, V. E., Solís, D., & Corral, J. (2010). Determinants of technical efficiency among dairy farms in Wisconsin. *Journal of Dairy Science*, 93, 387–393. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2307>
- Camara de Comercio del Piedemonte Araucano. (2016). *Estudio economico 2016*. Retrieved from https://www.camarapiedemonte.com/docs/ESTUDIO_SOCIECONOMICO%20_2016.pdf
- Capriles, M. 1998. Avances en la metodología: perfiles productivos y funcionalidad tecnológica en sistemas de producción de leche y carne con vacunos en Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía y Ciencias Veterinarias. Sistema de Producción con Rumiantes en los Trópicos Maracay (mimeo), 7 pp
- Carpinetti, L., & De Melo, A. (2002). What to benchmark? *Benchmarking: An International Journal*, 9(3), 244–255. <https://doi.org/10.1108/14635770210429009>
- Castel, J. M., Mena, Y., Delgado-Pertíñez, M., Camúñez, J., Basulto, J., Caravaca, F., Alcalde, M. J. (2003). Characterization of semi-extensive goat production systems in southern Spain. *Small Ruminant Research*, 47, 133–143. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(02\)00250-X](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(02)00250-X)
- Cecchini, L., Venanzi, S., Pierri, A., & Chiorri, M. (2018). Environmental efficiency analysis and estimation of CO2 abatement costs in dairy cattle farms in Umbria (Italy): A SBM-DEA model with undesirable output. *Journal of Cleaner Production*, 197, 895–907. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.165>
- Chang, H. H., & Mishra, A. K. (2011). Does the Milk Income Loss Contract program improve the technical efficiency of US dairy farms? *Journal of Dairy Science*, 94, 2945–2951. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-4013>
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429–444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Coelli, T. J. (1995). Recent developments in frontier modelling and efficiency measurement. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 39(3), 219–245. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8489.1995.tb00552.x>
- Coelli. (1996). *A guide to DEAP version 2.1: A Data Envelopment Analysis (computer) Program* (No. 08). Centre for Efficiency and Productivity Analysis (CEPA). Armidale.
- Coelli T.A., Perelman S. (1999). A comparison of parametric and non-parametric distance functions: with application to European railways. *European Journal of Operational Research* 117, 326–339. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00271-9](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00271-9)

- Coelli, T., Rao, P., O'Donnell, C., & Battese, G. E. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis* (Second Edi). New York: Springer Science+Business Media, Inc.
- Coll, V., & Blasco, O. M. (2006). *Evaluación de la Eficiencia mediante el Analisis Envolvente de Datos. Introducción a los modelos básicos*. Uniiversidad de Valencia. Retrieved from <http://www.eumed.net/libros-gratis/2006c/197/>
- Contreras, A. (2016). *Medición de la eficiencia del servicio de asistencia técnica prestado por FEDEGAN a las fincas ganaderas de los municipios de Duitama, Belén, Cerinza y Paipa del departamento de Boyacá. Una aplicación del análisis envolvente dee datos DEA (Tesis de Maestría)*. Retrieved from Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia. (<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75881>)
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., Tone, K., & Zhu, J. (2007). Some models and measures for evaluating performances with DEA: past accomplishments and future prospects. *Journal of Productivity Analisis*, 28, 151–163. <https://doi.org/10.1007/s11123-007-0056-4>
- Cortés-Mora, J. A., Cotes-Torres, A., & Cotes-Torres, J. M. (2014). Avances en clasificación de sistemas de producción con bovinos doble propósito en Colombia. *Archivos de Zootecnia*, 63(243), 559–562. <https://doi.org/10.21071/az.v63i243.537>
- Cortez-Arriola, J., Groot, J. C. J., Améndola, R. D., Scholberg, J. M. S., Mariscal, D. V., Tiftonell, P., & Rossing, W. A. H. (2014). Resource use efficiency and farm productivity gaps of smallholder dairy farming in North-west Michoacán , Mexico. *Agricultural Systems*, 126, 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.11.001>
- Cross, R & Iqbal, A. (2001). The Rank Xerox Experience. En Rolstadas, A. (Ed.). *Benchmarking – Theory and Practice* (pp.3-10). New York: Springer Science + Business Media, LLC.
- De-Pablos-Heredero, C., Montes-Botella, J. L., & García-Martínez, A. (2018). Sustainability in smart farms: Its impact on performance. *Sustainability*, 10, 1-17. <https://doi.org/10.3390/su10061713>
- 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. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1874>
- DNP. Departamento Nacional de Planeación. (2011). *Visión Arauca 2032: Geoestratégica, innovadora y nuestra*. (Vol. 1). Retrieved from [https://www.dnp.gov.co/programas/desarrollo-territorial/Ordenamiento y Desarrollo Territorial/Prospectiva-Territorial/Paginas/prospectiva-territorial.aspx](https://www.dnp.gov.co/programas/desarrollo-territorial/Ordenamiento_y_Desarrollo_Territorial/Prospectiva-Territorial/Paginas/prospectiva-territorial.aspx)
- EI-Mahgary, S., & Lahdelma, R. (1995). Data envelopment analysis : Visualizing the results. *European Journal of Operational Research*, 85, 700–710. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)00303-T](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00303-T)
- Elyasiani, E., & Mehdián, S. (1993). Measuring technical and scale inefficiencies in the beer industry: Nonparametric and parametric evidence. *Quarterly Review of Economics and Finance*, 33(4), 383–408. [https://doi.org/10.1016/1062-9769\(93\)90005-5](https://doi.org/10.1016/1062-9769(93)90005-5)

- Escribano, A. J. (2014). *Estudio de la producción bovina ecológica y convencional en sistemas extensivos de dehesas en Extremadura. Análisis técnico-económico, de sostenibilidad y eficiencia de su sistema productivo. Posibilidades de conversión al modelo de producción ecológica (Tesis de Doctorado)*. Retrieved from Repositorio Institucional de la Universidad de Extremadura. (<http://dehesa.unex.es/handle/10662/2652>)
- Espinosa-García, J. A., Vélez Izquierdo, A., Góngora González, S. F., Cuevas Reyes, V., Vázquez Gómez, R., & Rivera Maldonado, J. A. (2018). Evaluación del impacto en la productividad y rentabilidad de la tecnología transferida al sistema de bovinos de doble propósito del trópico Mexicano. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 21, 261–272. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/74f1/bfda87efb3eecab6cead84274931c793677b.pdf>
- Espinosa García, J. A., & Wiggins, S. (2003). Beneficios económicos potenciales de tecnología bovina de doble propósito en el trópico mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 41(1), 19-36. Retrieved from <http://www.tecnicapecuaria.org.mx/trabajos/200304010380.pdf>
- FAPRI-MU. (2019). *Baseline Update for International Dairy, Livestock and Biofuel Markets (Report 04-19)*. Retrieved from University of Missouri, Food and Agricultural Policy Research Institute website: <https://www.fapri.missouri.edu/wp-content/uploads/2019/09/2019-International-Baseline-Update.pdf>
- Färe, R., Grosskopf, S., & Lovell, C. (1985). *The measurement of efficiency of productivity*. Boston-Dordrecht-Lancaster: Kluwer-Nijhoff Publishing.
- Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, 120, 253–290. <https://doi.org/10.2307/2343100>
- FEDEGAN. Federación Nacional de Ganaderos. (2018). *Ganadería Colombiana. Hoja de Ruta 2018 - 2022*. Retrieved from http://static.fedegan.org.co.s3.amazonaws.com/publicaciones/Hoja_de_ruta_Fedegan.pdf
- FEDEGAN. Federación Nacional de Ganaderos. (2020a). *Balance y perspectivas del sector ganadero colombiano (2019-2020)*. Retrieved from <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/documentos-de-estadistica>
- FEDEGAN. Federación Nacional de Ganaderos. (2020b). *Producción | Fedegan*. Retrieved April 30, 2020, from <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/produccion-0>
- FEDEGAN - FNG. Federación Nacional de Ganaderos-Fondo Nacional del Ganado. (2014, Mayo). *Bases para la Formulación del plan de acción 2014-2018 para el mejoramiento de la ganadería del departamento de Meta. Presentado en Foro Ganadería Regional Visión 2014 -2018*. Villavicencio. Retrieved from estadisticas.fedegan.org.co
- FEDEGAN, & SENA. Federación Nacional de Ganaderos y Servicio Nacional de Aprendizaje. (2013). *Costos modales en ganadería de leche, Trópico alto de Colombia: Ventana a la competitividad ganadera*. Retrieved from http://static.fedegan.org.co.s3.amazonaws.com/publicaciones/Libro_Costos_de_gan

aderia.pdf

- Forsund, F. R., Lovell, C. K., & Schmidt, P. (1980). A Survey of Frontier Production Functions and of Their Relationship to Efficiency Measurement. *Journal of Econometrics*, 13, 5–25. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(80\)90040-8](https://doi.org/10.1016/0304-4076(80)90040-8)
- Fraser, I., & Cordina, D. (1999). An application of data envelopment analysis to irrigated dairy farms in Northern Victoria, Australia. *Agricultural Systems*, 59, 257–282. Retrieved from http://ac.els-cdn.com/S0308521X99000098/1-s2.0-S0308521X99000098-main.pdf?_tid=8d6c3308-0ab6-11e5-a35600000aacb35f&acdnat=1433421667_72b83d2eb95c7c664d39679bbd9a2788
- Gamarra, J. R. (2004). *Análisis económico de la eficiencia técnica relativa en ganaderías doble propósito en la Costa Caribe (Tesis de Maestría)*. Banco de la República.
- Gaspar, P., Escribano, M., Mesías, F. J., Pulido, F., & Martínez, F. (2007). La eficiencia en explotaciones ganaderas de dehesa: una aproximación DEA al papel de la sostenibilidad y de las subvenciones comunitarias. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 07, 215–20, 185–209. Retrieved from <http://europa.sim.ucm.es/compludoc/AA?articuloid=595410>
- 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(1), 7–14. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.05.012>
- Gellrich, M., Baur, P., Koch, B., & Zimmermann, N. E. (2007). Agricultural land abandonment and natural forest re-growth in the Swiss mountains: A spatially explicit economic analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118, 93–108. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.001>
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Tempio, G. (2013). *Tackling climate change through livestock - A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Glen, J.J. (1996). A development planning model for deer farming. *Agricultural Systems* 51(3): 317-337. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(96\)86776-X](https://doi.org/10.1016/0308-521X(96)86776-X)
- Gobernación Arauca. (2005). Plan Regional de Competitividad del departamento de Arauca. Retrieved from <http://www.competitivas.gov.co/sites/default/files/documentos/arauca.pdf>
- Godfray, J., Beddington, J., Crute, I., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J., Toulmin, C. (2010). Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, 327, 812–819. Retrieved from <https://science.sciencemag.org/content/327/5967/812>
- González, E. (2013). La estimación de la eficiencia con métodos no paramétricos. En Álvarez, A. (Ed.). *La medición de la eficiencia y la productividad* (pp.139-163). Madrid: Ediciones pirámide grupo Anaya S.A.
- González, D. (2019). *Análisis de eficiencia y benchmarking en sistemas de producción de*

- carne bovina del trópico de altura*(Tesis de Maestría). Retrieved from Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia. (<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75881>)
- González Fidalgo, E., Álvarez Pinilla, A., & Arias Sampedro, C. (1996). Análisis no paramétrico de eficiencia en explotaciones lecheras. *Investigación Agraria*, 2(1), 173–190. Retrieved from <http://www.unioviado.es/fidalgo/papers/invagrec.pdf>
- Granados-Rivera, L. D., Quiroz-Valiente, J., Maldonado-Jáquez, J. A., Granados-Zurita, L., Díaz-Rivera, P., & Oliva-Hernández, J. (2019). Caracterización y tipificación del sistema doble propósito en la ganadería bovina del Distrito de Desarrollo Rural 151, Tabasco, México. *Acta Universitaria*, 28(6), 47–57. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1916>
- Greene, W. H. (1993). The Econometric Approach to Efficiency Analysis, in H. O. Fried, C. A. K. Lovell and S. S. Schmidt (eds), *The Measurement of Productive Efficiency*, Oxford University Press, New York, 68-119.
- Hansson, H. (2007). Strategy factors as drivers and restraints on dairy farm performance : Evidence from Sweden. *Agricultural Systems*, 94, 726–737. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.03.002>
- Hansson, H., & Öhlmér, B. (2008). The effect of operational managerial practices on economic , technical and allocative efficiency at Swedish dairy farms. *Livestock Science*, 118, 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.01.013>
- Heidari, M. D., Omid, M., & Akram, A. (2011). Optimization of energy consumption of broiler production farms using data envelopment analysis approach. *Modern Applied Science*, 5(3), 69–78. <https://doi.org/10.5539/mas.v5n3p69>
- Heinrichs, A. J., Jones, C. M., Gray, S. M., Heinrichs, P. A., Cornelisse, S. A., & Goodling, R. C. (2013). Identifying efficient dairy heifer producers using production costs and data envelopment analysis 1. *Journal of Dairy Science*, 96, 7355–7362. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6488>
- Henderson, D. A., & Denison, D. R. (1989). Stepwise Regression in Social and Psychological Research. *Psychological Reports*, 64, 251–257. <https://doi.org/10.2466/pr0.1989.64.1.251>
- Hernández-Castellano, L. E., Nally, J. E., Lindahl, J., Wanapat, M., Alhidary, I. A., Fangueiro, D., ... De Almeida, A. M. (2019). Dairy science and health in the tropics: challenges and opportunities for the next decades. *Tropical Animal Health and Production*, 51(5), 1009–1017. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01866-6>
- Holmann, F., Rivas, L., Carulla, J., Rivera, B., Giraldo, L. A., Guzmán, S., Farrow, A. (2006). Producción de leche y su relación con los mercados; caso colombiano. In *X Seminario de Pastos y Forrajes* (p. 8).
- Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Safarzadeh, D., Ahmadi, E., & Nabavi-Pelesaraei, A. (2018). Optimization of energy consumption of dairy farms using data envelopment analysis – A case study: Qazvin city of Iran. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*,

17(3), 217–228. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.04.006>

- Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Safarzadeh, D., Ahmadi, E., Nabavi-Pelesaraei, A., & Hosseinzadeh-Bandbafha, E. (2017). Applying data envelopment analysis to evaluation of energy efficiency and decreasing of greenhouse gas emissions of fattening farms. *Energy*, 120, 652–662. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.117>
- Hunziker, M. (1995). The spontaneous reforestation in abandoned agricultural lands: perception and aesthetic assessment by locals and tourists. *Landscape and Urban Planning*, 31, 399–410. [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(95\)93251-J](https://doi.org/10.1016/0169-2046(95)93251-J)
- ICA. Instituto Colombiano Agropecuario. (2020). Censo Pecuario Nacional . Retrieved April 30, 2020, from <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>
- Iribarren, D., Hospido, A., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2011). Benchmarking environmental and operational parameters through eco-efficiency criteria for dairy farms. *Science of the Total Environment*, 409(10), 1786–1798. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.02.013>
- Jaforullah, M., & Whiteman, J. (1999). Scale efficiency in the New Zealand dairy industry: A non-parametric approach. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 43(4), 523–541. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.00093>
- Jaime, A. (2016). *Formulaciones en el Análisis Envolvente de Datos (DEA). Resolución de casos prácticos(Tesis de Pregrado)*. Deposito de Investigación Universidad de Sevilla. (<https://idus.us.es/handle/11441/43744>).
- Johansen, O. (1993). *Introduccion Teoria General Sistemas*. (Limusa, Ed.) (Primera ed). México. Retrieved from https://www.academia.edu/37993214/Introduccion_Teoria_General_Sistemas_Oscar_Johansen_email_work_card=view-paper
- Juárez-Barrientos, J., Herman-Lara, E., Soto-Estrada, A., Ávalos-de la Cruz, D. A., Vilaboa-Arroniz, J., & Díaz-Rivera, P. (2015). Tipificación de sistemas de doble propósito para producción de leche en el distrito de desarrollo rural 008, Veracruz, México. *Revista Científica de La Facultad de Ciencias Veterinarias de La Universidad Del Zulia*, 25(4), 317–323. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=959/95941173007>.
- Kelly, E., Shaloo, L., Geary, U., Kinsella, A., & Wallace, M. (2012). Application of data envelopment analysis to measure technical efficiency on a sample of Irish dairy farms. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 51(1), 63–77. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/41756846>
- Kopp, R. J. (1981). The Measurement of Productive Efficiency : A Reconsideration. *The Quarterly Journal of Economics*, 96(3), 477–503. <https://doi.org/10.2307/1882683>
- Koopmans, T.C. (1951). An analysis of production as an efficient combination of activities, in T.C. Koopmans, (Ed.), *Activity Analysis of Production and Allocation*, Cowles Commission for Research in Economics, Monograph No. 13, Wiley, New York.

- Kumbhakar, S., Ghosh, S., & Thomas, M. (1991). A Generalized Production Frontier Approach for Estimating Determinants of Inefficiency in US Dairy Farms. *Journal of Business & Economic Statistics*, 9(3), 279–285. <https://doi.org/10.1080/07350015.1991.10509853>
- Laiton, J. (2019). *Evaluación de tres especies de Brachiaria spp, bajo métodos de pastoreo rotacional, en sabanas del piedemonte del municipio de Tame – Arauca* (Tesis de Maestría). Repositorio Universidad de los Llanos.
- Lara, P.; Stancu-Minasian, I. (1999). Fractional programming: a tool for the assessment of sustainability. *Agricultural Systems*, 62: 131-141. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(99\)00062-1](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(99)00062-1)
- Latruffe, L., Fogarasi, J., & Desjeux, Y. (2012). Efficiency, productivity and technology comparison for farms in Central and Western Europe: The case of field crop and dairy farming in Hungary and France. *Economic Systems*, 36, 264–278. <https://doi.org/10.1016/j.ecosys.2011.07.002>
- Lau, H. C. W., Lau, P. K. H., Fung, R. Y. K., Chan, F. T. S., & Ip, R. W. L. (2005). A virtual case benchmarking scheme for vendors' performance assessment. *Benchmarking: An International Journal*, 12(1), 61–80. <https://doi.org/10.1108/14635770510582916>
- Liao, X., Li, Q., Yang, X., Zhang, W., & Li, W. (2008). Multiobjective optimization for crash safety design of vehicles using stepwise regression model. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 35, 561–569. <https://doi.org/10.1007/s00158-007-0163-x>
- Liu, J. S., Lu, L. Y. Y., Lu, W. M., & Lin, B. J. Y. (2013). A survey of DEA applications. *Omega. The International Journal of Management Science*, 41(5), 893–902. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.11.004>
- López-Roldán, P., & Fachelli, S. (2015). *Metodología De La Investigación Social Cuantitativa* (1ª). Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona. Retrieved from <http://ddd.uab.cat/record/129382>
- Lovell, C.A.K. (1993). Production Frontiers and Productive Efficiency. En H. Fried, C. K. Lovell, & S. Schmidt (Eds.), *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications* (pp. 3-67). New York: Oxford University Press, Inc.
- MacDonald, D., Crabtree, J. R., Wiesinger, G., Dax, T., Stamou, N., Fleury, P., Gibon, A. (2000). Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: Environmental consequences and policy response. *Journal of Environmental Management*, 59, 47–69. <https://doi.org/10.1006/jema.1999.0335>
- Magaña Monforte, J., Rios-Arjona, G., & Martínez-González, J. (2006). Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 14(3), 105–114. Retrieved from <http://www.bioline.org.br/request?la06019>
- Maietta, O.W. (1998). Measuring and interpreting levels of technical efficiency: a firm analysis model with application to Rica dataset. *Questione Agraria*, 69:37-58.

- Mbaga, M. D., Romain, R., Larue, B., & Lebel, L. (2003). Assessing technical efficiency of Québec dairy farms. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 51, 121–137. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7976.2003.tb00169.x>
- Mendoza, B. (2011). Estructuración socio territorial del departamento de Arauca, 1950-2008. *Perspectiva Geográfica*, 16, 151–172. <https://doi.org/10.19053/01233769.1746>
- Moore, J. E., & Undersander, D. J. (2002). Relative Forage Quality : An Alternative to Relative Feed Value and Quality Index (13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symp., Florida Dairy Extension (ed.)).
- Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., Jafari, A., & Mohammadi, A. (2011). Improving energy use efficiency of canola production using data envelopment analysis (DEA) approach. *Energy*, 36, 2765–2772. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.02.016>
- Mu, W., Kanellopoulos, A., Middelaar, C. E. Van, Stilmant, D., & Bloemhof, J. M. (2018). Assessing the impact of uncertainty on benchmarking the eco- efficiency of dairy farming using fuzzy data envelopment analysis. *Journal of Cleaner Production*, 189, 709–717. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.091>
- Murgueitio, E. (1992). Sistemas sostenibles de doble propósito como alternativa para la economía campesina. *Livestock Research for Rural Development*, 4(3), 1–11. Retrieved from <http://www.lrrd.org/lrrd4/3/enrique1.htm>
- Norman, M.; Stoker, B. (1991). *Data Envelopment Analysis: an assessment of performance*, Wiley, New York.
- Ondersteijn, C. J. M., Giesen, G. W. J., & Huirne, R. B. M. (2003). Identification of farmer characteristics and farm strategies explaining changes in environmental management and environmental and economic performance of dairy farms. *Agricultural Systems*, 78, 31–55. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(03\)00031-3](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(03)00031-3)
- Ortega, L. E., Ward, R. W., & Andrew, C. O. (2007). Technical Efficiency of the Dual-Purpose Cattle System in Venezuela. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 39(3), 719–733. <https://doi.org/10.1017/s1074070800023373>
- Oviedo, W., & Rodríguez, G. (2011). Medición de la eficiencia técnica relativa de las fincas asociadas a Coounión en Guasca Cundinamarca. *Revista MVZ Córdoba*, 16(2), 2616–2627. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1036>
- Pardo Sempere, M. L. (2001). *Medidas de eficiencia en la producción de leche : El Caso De La Provincia De Córdoba* (Tesis de Doctorado). Dialnet.
- Passos, C., & Haddad, R. (2013). Benchmarking: A tool for the improvement of production management. In *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)* (pp. 577–581). Fortaleza: IFAC. <https://doi.org/10.3182/20130911-3-BR-3021.00003>
- Pinzón, G. (2007). *Diseño de un sistema para mejorar el rendimiento de una ganadería intensiva doble propósito en la finca sarvipai en el municipio de Yacopi, Cundinamarca*. Universidad de la Salle. Retrieved from <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/1175/T87.07P658d.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Pitta, N. (2017). *Análisis de unidades de mercado en la competitividad de la cadena láctea del Piedemonte araucano* (Tesis de Maestría). Repositorio Universidad Nacional de Colombia. (https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/64746/Tesis_cadena_%C3%A1ctea_Arauca.pdf?sequence=1)
- Quesada, V., Blanco, I., & Maza, F. (2010). Análisis envolvente de datos aplicado a la cobertura educativa en el departamento de Bolívar - Colombia (2007-2008). *Omnia*, 16(3), 77–100. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/737/73716205006.pdf>
- Ramilan, T., Scrimgeour, F., & Marsh, D. (2011). Analysis of environmental and economic efficiency using a farm population microsimulation model. *Mathematics and Computers in Simulation*, 81(7), 1344–1352. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2010.04.018>
- Rangel, J., Perea, J., De-Pablos-Heredero, C., Espinosa-García, J. A., Toro Mujica, P., Feijoo, M., García, A. (2020). Structural and technological characterization of tropical smallholder farms of dual-purpose cattle in Mexico. *Animals*, 10, 1–13. <https://doi.org/10.3390/ani10010086>
- Rangel, J., Rivas, J., Torres, Y., Perea, J., De-Pablos-Heredero, C., Barba, C., & García, A. (2016). Efecto del tamaño del rebaño y la zona ecológica en el nivel tecnológico del sistema de doble propósito del trópico Ecuatoriano. *Revista Científica de La Facultad de Ciencias Veterinarias de La Universidad Del Zulia*, 26(3), 164–172. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95946430007>
- Rincón, A. (1997). *Producción bovina*. (C. A. Jaramillo, Ed.). Villavicencio: Aristizábal Asociados.
- Rincón, Á., Flórez, H., Ballesteros, H., & León, Y. L. M. (2018). Efectos de la fertilización en la productividad de una pastura de *Brachiaria humidicola* cv. Llanero en el Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. *Tropical Grasslands*, 6(1), 158–168. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(6\)158-168](https://doi.org/10.17138/TGFT(6)158-168)
- Rodríguez-Qüenza, L. E., Correa-Toro, A., Hernández-Rodríguez, M., & Salamanca C., A. (2019). Etnografía del productor araucano de la sabana inundable, Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(166), 6. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.725>
- Royo-Rubio, R., Vázquez-Armijo, J. F., Pérez-Hernández, P., Mendoza-Martínez, G. D., Salem, A. Z. M., Albarrán-Portillo, B., ... Gutierrez-Cedillo, J. G. (2009). Dual purpose cattle production in Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 41, 715–721. <https://doi.org/10.1007/s11250-008-9249-8>
- Ronan, G., & Cleary, G. (2000). Best Practice Benchmarking in Australian Agriculture: Issues and Challenges. In *44 Annual Conference. Australian Agricultural and Resource Economics Society Inc.* (Vol. 39, p. 15). Sydney. Retrieved from <http://www.agrifood.info/perspectives/2000/Ronan.html>
- Roncallo, B., Sierra, A., & Castro, E. (2012). Rendimiento de forraje de gramíneas de corte y efecto sobre calidad composicional y producción de leche en el Caribe seco. *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(1), 71–78. Retrieved from

<http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/242>

- Rouse, P., Harrison, J., & Chen, L. (2010). Data Envelopment Analysis: A Practical Tool to Measure Performance. *Australian Accounting Review*, 20(2), 165–177. <https://doi.org/10.1111/j.1835-2561.2010.00090.x>
- Schulte, H. D., Armbricht, L., Bürger, R., Gauly, M., Musshoff, O., & Huttel, S. (2018). Let the cows graze : An empirical investigation on the trade-off between efficiency and farm animal welfare in milk production. *Land Use Policy*, 79, 375–385. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.07.005>
- SENASA. (2018). El stock ganadero bovino alcanzó los 54,8 millones de animales. Retrieved April 30, 2020, from <http://www.senasa.gov.ar/senasa-comunicacion/noticias/el-stock-ganadero-bovino-alcanzo-los-548-millones-de-animales>
- Shortall, O. K., & Barnes, A. P. (2013). Greenhouse gas emissions and the technical efficiency of dairy farmers. *Ecological Indicators*, 29, 478–488. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.01.022>
- Siafakas, S., Tsiplakou, E., Kotsarinis, M., Tsiboukas, K., & Zervas, G. (2019). Identification of efficient dairy farms in Greece based on home grown feedstuffs , using the Data Envelopment Analysis method. *Livestock Science*, 222, 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.02.008>
- Simar, L., Wilson, P. (1998). Sensitivity analysis of efficiency scores: how to bootstrap in nonparametric frontier models. *Management Science*, 44, 49–61. <https://doi.org/10.1287/mnsc.44.1.49>
- Simar, L., Wilson, P. (2000). Statistical inference in nonparametric frontier models: the state of the art. *Journal of Productivity Analysis*, 13, 49–78. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1007864806704>
- Smith, P. (1997). Model misspecification in Data Envelopment Analysis. *Annals of Operations Research*, 73, 233–252. <https://doi.org/10.1023/a:1018981212364>
- Stapenhurst, T. (2009). *The benchmarking book: A How-to-Guide to Best Practice for Managers and Practitioners*, Elsevier (Ed.), Oxford: Elsevier.
- Stokes, J. R., Tozer, P. R., & Hyde, J. (2007). Identifying Efficient Dairy Producers Using Data Envelopment Analysis. *Journal of Dairy Science*, 90(5), 2555–2562. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-596>
- Téllez, G., & Cubillos, A. (2003). *Capacitación en gestión para empresarios ganaderos fase II. Modulo: Benchmarking para empresas ganaderas*. Bogotá: FEDEGAN - FONDO NACIONAL DEL GANADO.
- Thanassoulis, E. (2001). *Introduction To the Theory and Application of Data Envelopment Analysis*. Birmingham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1407->
- Theodoridis, A., Ragkos, A., Roustemis, D., Galanopoulos, K., Abas, Z., & Sinapis, E. (2012). Assessing technical efficiency of Chios sheep farms with data envelopment analysis. *Small Ruminant Research*, 107, 85–91.

- <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.05.011>
- Thomas, A. C., & Tauer, L. W. (1994). Linear Input Aggregation Bias in Nonparametric Technical Efficiency Measurement. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 42, 77–86. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7976.1994.tb00007.x>
- Timmer, C. P. (1971). Using a Probabilistic Frontier Production Function to Measure Technical Efficiency. *Journal of Political Economy*, 79(4), 776–794. <https://doi.org/10.1086/259787>
- Tolosa, B. (2013). *Evaluación de eficiencia en el sector de distribución de energía eléctrica en Colombia empleando la metodología de análisis envolvente de datos - DEA (Tesis de Maestría)*. Repositorio Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/9370/>
- Toro-Mujica, P., Vera, R., Pinedo, P., Bas, F., Enríquez-Hidalgo, D., & Vargas-Bello-Perez, E. (2020). Adaptation strategies based on the historical evolution for dairy production systems in temperate areas: A case study approach. *Agricultural Systems*, 182, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102841>
- Torres, C. S., Guevara, G. E., Guevara, R. V., Méndez, M. S., Soria, M. E., & Bermúdez, F. G. (2017). Eficiencia técnica en granjas lecheras del trópico mediante modelación no paramétrica. *Maskana, Producción Animal*, 8, 157–159. Retrieved from <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/1513/1198>
- Torres, Y., García, A., Rivas, J., Perea, J., Angón, E., & De Pablos-Heredero, C. (2015). Caracterización socioeconómica y productiva de las granjas de doble propósito orientadas a la producción de leche en una región tropical de Ecuador. Caso de la provincia de Manabí. *Revista Científica de La Facultad de Ciencias Veterinarias de La Universidad Del Zulia*, 25(4), 330–337. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95941173009>
- Tran, T. H., Mao, Y., Nathanail, P., Siebers, P., & Robinson, D. (2019). Integrating Slack-based Measure of Efficiency and Super-efficiency in Data Envelopment Analysis. *Omega*, 85, 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.06.008>
- Uddin, M. M., Sultana, M. N., Bruermer, B., & Peters, K. J. (2012). Assessing the Impact of Dairy Policies on Farm-Level Profits in Dairy Farms in Bangladesh: Benchmarking for Rural Livelihoods Improvement Policy. *Journal of Reviews on Global Economics*, 1, 124–138. Retrieved from <http://www.lifescienceglobal.com/pms/index.php/jrge/article/view/968>
- UNAL. Universidad Nacional de Colombia. (2018). *Diagnóstico Departamento de Arauca*. Retrieved from http://orinoquia.unal.edu.co/fileadmin/user_upload/Diagnostico_Sectorial_Departamento_Arauca.pdf
- Urdaneta, F., Dios-palomares, R., & Cañas, J. A. (2013). Estudio Comparativo de la Eficiencia Técnica de Sistemas Ganaderos de Doble Propósito en las Zonas Agroeconómicas de los Municipios Zulianos de la Cuenca del Lago Maracaibo, Venezuela. *FCV-LUZ, XXIII(3)*, 211–219. Retrieved from

<https://produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/view/15796>

- Urdaneta, F., Peña, M. E., González, B., Casanova, Á., Cañas, J. A., & Dios-Palomares, R. (2010). Eficiencia técnica en fincas ganaderas de doble propósito en la cuenca del lago de Maracaibo, Venezuela. *Revista Científica*, XX(6), 649–658. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95916206012>
- Urdaneta, F., Peña, M. E., Rincón, R., Romero, J., & Rendón-Ortín, M. (2008). Gestión y tecnología en sistemas ganaderos de doble propósito (Taurus-Indicus). *Revista Científica de La Facultad de Ciencias Veterinarias de La Universidad Del Zulia*, 18(6), 715–724. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=959/95911659010>
- Uribe, F., Zuluaga, A. F., Valencia, L., Murgueitio, E., & Ochoa, L. (2011). *Buenas prácticas ganaderas. Manual 3, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible*. (Fernando Uribe, Ed.). Bogotá: GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGAN, CIPAV, FONDO ACCIÓN, TNC. Retrieved from <http://www.cipav.org.co/pdf/3.Buenas.Practicas.Ganaderas.pdf>
- USDA-FAS. United States Department of Agricultura. (2019). Comercio y mercados internacionales. (Report 12-19). Retrieved from <http://www.ocla.org.ar/contents/news/details/15098084-comercio-y-mercados-internacionales-gain-report-usda-fas-dic-19>
- USDA. United States Department of Agricultura. (2020a). Dairy Data|Annual milk production and factors that affecting supply. Retrieved April 30, 2020, from <https://www.ers.usda.gov/data-products/dairy-data/>
- USDA. United States Department of Agricultura. (2020b, April 13). Dairy Data|US. dairy situation at a glance (monthly and annual). Retrieved April 30, 2020, from <https://www.ers.usda.gov/data-products/dairy-data/>
- USDA, & NASS. United States Department of Agricultura & National Agricultural Statistics Service (2020). Cattle. Retrieved from https://www.nass.usda.gov/Statistics_by_State/Iowa/Publications/Livestock_Report/2020/US-Cattle-07-20.pdf
- Vázquez, I., Iribarren, D., Moreira, M. T., & Feijoo, G. 2010. Combined application of life cycle assessment and data envelopment analysis as a methodological approach for the assessment of fisheries. *Lyfe Cycle Assess*, 15: 272–283. Retrieved from <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20103168570>
- Vilaboa Arroniz, J., & Díaz Rivera, P. (2009). Caracterización socioeconómica y tecnológica de los sistemas ganaderos en siete municipios del estado de Veracruz, México. *Zootecnia Tropical*, 27(4), 427–436. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243005>
- Villarreal, F., & Tohmé, F. (2017). Análisis envolvente de datos. Un caso de estudio para una universidad en argentina. *Estudios Gerenciales*, 33, 302–308. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2017.06.004>
- Von Keyserlingk, M., Barrientos, A., Ito, K., Galo, E., & Weary, D. (2012). Benchmarking cow comfort on North American freestall dairies: lameness, leg injuries, lying time,

- facility design, and management for high-producing Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95, 7399–7408. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5807>
- Wettemann, P. J. C., & Latacz-Lohmann, U. (2017). An efficiency-based concept to assess potential cost and greenhouse gas savings on German dairy farms. *Agricultural Systems*, 152, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2016.11.010>
- Wilson, P. W. (1993). Detecting Outliers in Deterministic Nonparametric Frontier Models with Multiple Outputs. *Journal of Business & Economic Statistics*, 11(3), 319–323. <https://doi.org/10.2307/1391956>
- Wilson, P. W. (2008). FEAR: A software package for frontier efficiency analysis with R. *Socio-Economic Planning Sciences*, 42, 247–254. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2007.02.001>
- Yamamoto, W., Dewi, I. A., & Ibrahim, M. (2007). Effects of silvopastoral areas on milk production at dual-purpose cattle farms at the semi-humid old agricultural frontier in central Nicaragua. *Agricultural Systems*, 94, 368–375. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2006.10.011>
- Zhou, N., Pierre, J. W., & Trudnowski, D. (2012). A stepwise regression method for estimating dominant electromechanical modes. *IEEE Transactions on Power Systems*, 27(2), 1051–1059. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2011.2172004>
- Zhu, J. (2003). Quantitative models for performance evaluation and benchmarking. Data envelopment analysis with spreadsheets and DEA excel solver, F. S. Hillier, (Ed.). New York: Springer Science+Business Media, Inc.