



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Modelo de análisis de sostenibilidad en lechería especializada**

**Gloria Piedad Ríos Atehortúa**

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Medellín, Colombia

2022



# **Modelo de análisis de sostenibilidad en lechería especializada**

**Gloria Piedad Ríos Atehortúa**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Doctor en Ingeniería, Industria y Organizaciones**

Director:

PhD. Sergio Botero Botero

Línea de Investigación:

Métodos y Modelos de Optimización y Estadística en Ingeniería Industrial y  
Administrativa

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad, Escuela de la Organización  
Medellín, Colombia

2022



*(Dedicatoria o lema)*

*A mis padres, hermanos y sobrinos por  
compartir mi historia de Vida.*



## **Agradecimientos**

A la familia Gómez Osorio del municipio de la Unión, Antioquía por su compromiso, amabilidad y disposición para facilitar la información necesaria y pertinente.

A los productores de leche y mayordomos en las veredas: las Acacias, La Concha, Buenavista y La Almería del municipio de La Unión.

A los productores de leche y mayordomos en las veredas: Charco Verde, La Pulgarina, La Lana, El Tambo, Quebrada Negra del municipio de San Pedro de los Milagros, Antioquia.

Al profesor José Miguel Cotes Torres por animarme a iniciar esta etapa de doctorado.

Al profesor Sergio Botero Botero por su valiosa asesoría y aportes en todo el proceso de formación doctoral.

A mi estimada amiga Diana Ospina, por su constante apoyo y disponibilidad en las consultas y asesorías en el uso de bases de datos para la búsqueda de información.

A los expertos evaluadores, Zootecnistas: Liliana María Gómez Osorio, Juliana Muñoz Lara, Diego Sierra Calderón y Jorge Juan Cataño; Ing. Forestales: Marleny Durango López y Gloria Estela Ceballos; Ambientalistas: Alba Nora Sánchez Bernal y Santiago Gómez Gómez; Ing. Administrativo: Lizeth Sepúlveda Atehortúa; Ing. Producción: Carlos Andrés Arango.

A mí amada familia por ser la inspiración de mi vida.

A Doña Ángela Lara Arias y su familia, por su siempre caluroso apoyo y atenciones.

A mis amigas del alma Juliana, Eglá, Dina, Patry y Diana, y a mi gran amigo y compañero Néstor, por su placentera compañía en todo este proceso.



## Resumen

La presente investigación, propone un modelo de indicador integral, para medir la sostenibilidad de sistemas de producción en lechería especializada, y se contrasta con la aplicación de métodos de decisión multicriterio, se comparan y combinan los métodos de decisión multicriterio para evaluar la robustez de la medición. El estudio se llevó a cabo con información proveniente de 18 hatos, dedicados a la cría, levante y producción de leche; los hatos fueron seleccionados por conveniencia y se encuentran ubicados en los municipios de San Pedro de los Milagros y La Unión; Antioquía. La información relacionada con las dimensiones financiera, técnica, social y ambiental, se obtuvo a través de información primaria recopilada en una entrevista semiestructurada. La información se determinó, revisando el programa de registros reproductivos que maneja cada hato; y a través de observación directa en campo. Para la aplicación del modelo de indicador integral y de los métodos de decisión multicriterio, se utilizaron 30 subcriterios (7 financieros, 7 técnicos, 6 sociales y 10 ambientales). Se aplicó el proceso analítico jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés Analytic Hierarchy Process), para la priorización de dimensiones y subcriterios. Los resultados muestran que el nivel de sostenibilidad promedio para el 72% de los sistemas productivos estudiados, está por encima de (0,5) y que la sostenibilidad de estos sistemas productivos está muy influenciada por subcriterios como: producción promedia, costos de producción, rentabilidad, intervalo entre partos, días abiertos, calidad de vida y protección y conservación de fuentes hídricas. Asimismo, se observó según un análisis de correlación de Pearson que los métodos contrastados para medir la sostenibilidad están muy relacionados entre sí y no hay diferencia significativa respecto a los resultados obtenidos. Lo que permite concluir que los métodos utilizados en este estudio se convierten en una poderosa herramienta de toma de decisiones, para medir la sostenibilidad de sistemas de producción en lechería especializada.

**Palabras clave:** ganadería de leche, métodos de decisión multicriterio, indicador de sostenibilidad, proceso analítico jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés Analytic Hierarchy Process)

## **Sustainability analysis model in specialized dairy**

### **Abstract**

This research proposes an integral indicator model to measure the sustainability of specialized dairy production systems and contrasts it with the application of multi-criteria decision methods, comparing and combining multi-criteria decision methods to evaluate the robustness of the measurement. The study was conducted with information from 18 herds, dedicated to breeding, raising and milk production; the herds were selected by convenience and are located in the municipalities of San Pedro de los Milagros and the Unión; Antioquia. The information related to the financial, technical, social, and environmental dimensions was obtained through primary information collected in a semi-structured interview. The information was determined by reviewing the reproductive records program managed by each herd and through direct observation in the field. For the application of the integral indicator model and the multi-criteria decision methods, 30 sub-criteria were used (7 financial, 7 technical, 6 social and 10 environmental). The Analytic Hierarchy Process (AHP) was applied to prioritize dimensions and sub-criteria. The results show that the average level of sustainability for 72% of the production systems studied is above (0.5) and that the sustainability of these production systems is highly influenced by sub-criteria such as: average production, production costs, profitability, calving interval, days open, quality of life and protection and conservation of water sources. It was also observed, according to a Pearson correlation analysis, that the methods used to measure sustainability are closely related to each other and there is no significant difference in the results obtained. This leads to the conclusion that the methods used in this study become a powerful decision-making tool to measure the sustainability of specialized dairy production systems.

**Keywords: dairy farming, multi-criteria decision methods, sustainability indicator, Analytic Hierarchy Process (AHP).**

# Contenido

<b>Resumen</b>	<b>Pág.</b> <b>IX</b>
<b>Abstract</b>	<b>X</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>XIII</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>XIV</b>
<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>1. Marco teórico</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Definición y utilización de los términos sostenibilidad y sustentabilidad</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Dimensiones de la sostenibilidad</b>	<b>18</b>
<b>1.2.1 Dimensión económico-financiera</b>	<b>19</b>
<b>1.2.2. Dimensión técnica</b>	<b>19</b>
<b>1.2.3 Dimensión social</b>	<b>20</b>
<b>1.2.4 Dimensión ambiental</b>	<b>21</b>
<b>1.3 Introducción a los métodos de toma de decisiones</b>	<b>22</b>
<b>1.3.1 Método proceso analítico jerárquico</b>	<b>24</b>
<b>1.3.2 Técnica para el orden de preferencias por similitud a solución ideal</b>	<b>26</b>
<b>1.3.3 Método de optimización multidisciplinar y solución de compromiso</b>	<b>29</b>
<b>1.4 Análisis de la sostenibilidad</b>	<b>31</b>
<b>1.4.1 Análisis de sostenibilidad en sistemas agropecuarios</b>	<b>33</b>
<b>1.4.2 Modelos de análisis de sostenibilidad en sistemas agropecuarios</b>	<b>34</b>
<b>1.4.3 Métodos multicriterio y el análisis de sostenibilidad</b>	<b>40</b>
<b>1.5 Consideraciones para selección de métodos de decisión multicriterio</b>	<b>45</b>
<b>2. Contexto</b>	<b>48</b>
<b>2.1 Los sistemas de producción bovinos de leche en Colombia</b>	<b>48</b>
<b>2.1.1 Caracterización de los sistemas de producción bovinos de leche</b>	<b>48</b>

---

<b>2.1.2 Sistema de pastoreo intensivo suplementado en lechería especializada</b>	<b>49</b>
<b>2.1.3 Sistemas de producción bovinos de leche y la competitividad</b>	<b>54</b>
<b>3. Metodología de investigación</b>	<b>59</b>
<b>3.1 Descripción de la metodología</b>	<b>59</b>
<b>3.1.1 Etapa 1. Metodologías implementadas en el marco de análisis de sostenibilidad en SPBL.</b>	<b>59</b>
<b>3.1.2 Etapa 2. Propuesta de modelo de indicador integral</b>	<b>60</b>
<b>3.1.3 Etapa 3. Aplicación de métodos multicriterio seleccionados</b>	<b>64</b>
<b>3.1.4 Etapa 4. Contraste entre el modelo de indicador integral y métodos multicriterio aplicados</b>	<b>67</b>
<b>4. Estudio de caso: aplicación de métodos a varias alternativas de sistemas de lechería en Antioquia</b>	<b>69</b>
<b>4.1 Área de estudio</b>	<b>69</b>
<b>4.2 Recopilación de información primaria</b>	<b>71</b>
<b>4.2.1 Selección de alternativas</b>	<b>71</b>
<b>4.2.2 Aplicación de entrevista semiestructurada</b>	<b>72</b>
<b>4.3 Modelo de indicador integral de sostenibilidad</b>	<b>73</b>
<b>4.3.1 Dimensiones de la sostenibilidad en SPBL</b>	<b>73</b>
<b>4.3.2 Análisis y depuración de subcriterios (variables)</b>	<b>77</b>
<b>4.3.3 Priorización de dimensiones y subcriterios</b>	<b>82</b>
<b>4.3.4 Normalización de subcriterios</b>	<b>82</b>
<b>4.3.5 Obtención de indicadores</b>	<b>83</b>
<b>4.3.6 Análisis estadístico de indicadores</b>	<b>83</b>
<b>4.4 Aplicación de métodos multicriterio</b>	<b>83</b>
<b>4.4.1 Proceso analítico jerárquico</b>	<b>84</b>
<b>4.4.2 Técnica para el orden de preferencia por similitud a solución ideal</b>	<b>84</b>
<b>4.4.3 Método de optimización multidisciplinar y solución de compromiso</b>	<b>85</b>
<b>4.4.4 Análisis de correlación entre métodos multicriterio</b>	<b>85</b>
<b>4.5 Contraste entre el indicador integral</b>	<b>85</b>
<b>5. Resultados y discusión</b>	<b>87</b>
<b>5.1 Implementación del modelo de indicador integral de sostenibilidad</b>	<b>87</b>
<b>5.1.1 Priorización de dimensiones y subcriterios</b>	<b>87</b>
<b>5.1.2 Indicador integral de sostenibilidad en lechería especializada IISLE</b>	<b>90</b>

---

<b>5.1.3 Análisis estadístico de indicadores</b>	<b>93</b>
<b>5.2 Aplicación de métodos multicriterio</b>	<b>97</b>
<b>5.2.1 proceso analítico jerárquico</b>	<b>97</b>
<b>5.2.2 Técnica para el orden de preferencia por similitud a la solución ideal</b>	<b>98</b>
<b>5.2.3 Método de optimización disciplinar y solución de compromiso</b>	<b>98</b>
<b>5.2.4 Ranquin de alternativas según métodos aplicados</b>	<b>99</b>
<b>5.2.5 Comparación entre métodos multicriterio</b>	<b>102</b>
<b>5.3 Análisis de contraste entre IISLE y los métodos AHP, TOPSIS y VIKOR</b>	<b>103</b>
<b>6. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>107</b>
<b>6.1 Conclusiones</b>	<b>107</b>
<b>6.2 Recomendaciones</b>	<b>109</b>
<b>A. Anexo: Entrevista semiestructurada</b>	<b>113</b>
<b>B. Anexo: Implementación de métodos</b>	<b>118</b>
<b>C. Anexo: Proceso de implementación del modelo propuesto</b>	<b>167</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>170</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 0-1</b> Árbol del problema en lechería especializada	5
<b>Figura 2-1:</b> Composición del sistema de producción pastoreo intensivo suplementado	53
<b>Figura 3-1:</b> Procedimiento proceso analítico jerárquico.....	65
<b>Figura 3-2:</b> Procedimiento técnica para el orden de preferencia por similitud a solución ideal.....	66
<b>Figura 3-3</b> Procedimiento método de optimización multidisciplinar y solución de compromiso .....	67
<b>Figura 4-1</b> Mapa municipios San Pedro de los Milagros y La Unión.....	70
<b>Figura 4-2</b> Dimensiones para analizar sostenibilidad en lechería especializada.	76
<b>Figura 4-3</b> Estructura jerárquica en el análisis de sostenibilidad	84
<b>Figura 5-1</b> Análisis de correlación entre indicadores de sostenibilidad.....	95
<b>Figura 5-2</b> Análisis de clúster entre sistemas de producción de leche.....	96
<b>Figura 5-3</b> Análisis de correlación entre métodos multicriterio.....	102
<b>Figura 5-4</b> Coeficiente de correlación de Pearson.....	103

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1-1</b> Escala fundamental de valoración proceso analítico jerárquico.....	25
<b>Tabla 1-2</b> Índice de aleatoriedad según tamaño de la muestra N.....	26
<b>Tabla 1-3</b> Matriz de decisión.....	27
<b>Tabla 1-4</b> Resumen de métodos de decisión multicriterio aplicados a estudios de sostenibilidad.....	41
<b>Tabla 4-1</b> Alternativas seleccionadas.....	71
<b>Tabla 4-2</b> Dimensiones y subcriterios.....	78
<b>Tabla 4-3</b> Escala Likert para evaluar grado protección fuentes de agua.....	79
<b>Tabla 4-4</b> Escala Likert para evaluar procesos erosivos.....	80
<b>Tabla 4-5</b> Escala Likert para evaluar uso de plaguicidas.....	80
<b>Tabla 4-6</b> Escala para evaluar prácticas conservación de suelo.....	81
<b>Tabla 4-7</b> Escala para evaluar tratamiento de excretas.....	81
<b>Tabla 4-8</b> Escala para evaluar destino aguas residuales.....	81
<b>Tabla 5-1</b> Matriz de comparación normalizada, entre dimensiones.....	87

---

<b>Tabla 5-2</b> Priorización de dimensiones y subcriterios.....	89
<b>Tabla 5-3</b> Indicadores de sostenibilidad en sistemas de producción lechería especializada.....	90
<b>Tabla 5-4</b> Análisis de correlaciones simples.....	94
<b>Tabla 5-5</b> Análisis de correlaciones parciales.....	94
<b>Tabla 5-6</b> Matriz de comparación entre alternativas calificación final.....	97
<b>Tabla 5-7</b> Distancias y coeficiente de cercanía por alternativa.....	98
<b>Tabla 5-8</b> Parámetros $S_i$ , $R_i$ y $Q_i$ .....	99
<b>Tabla 5-9</b> Ranquin de alternativas según métodos.....	100
<b>Tabla 5-10</b> Coeficiente de correlaciones entre AHP, TOPSIS y VIKOR.....	102
<b>Tabla 5-11</b> Coeficiente de correlación de Pearson.....	103
<b>Tabla B-1</b> Información primaria por sistema de producción de leche.....	118
<b>Tabla B-2</b> Priorización de subcriterios método AHP.....	123
<b>Tabla B-3</b> Priorización de alternativas método AHP.....	127
<b>Tabla B-4</b> Aplicación método TOPSIS.....	132
<b>Tabla B-5</b> Aplicación método VIKOR.....	148
<b>Tabla B-6</b> Normalización subcriterios para indicador integral de sostenibilidad....	156
<b>Tabla B-7</b> Análisis de varianza para los indicadores de sostenibilidad.....	164



00

**Tabla B-8** Análisis de varianza para coeficiente de Pearson..... 164**Tabla B-9** Criterio ACAIQUE..... 165



# Introducción

## Antecedentes y Justificación

La tendencia actual hacia la globalización en todas las áreas de negocios, incluidos los negocios agropecuarios, ha significado un aumento de la competencia, tanto en intensidad como diversidad. Por tal motivo se debe disponer de métodos y herramientas con las cuales identificar debilidades y fortalezas de sus sistemas productivos, de forma de ir adaptándose a un medio ambiente altamente dinámico y de dar sentido estratégico a la gestión de la agro-empresa, para enfrentar de manera exitosa la competencia de los diferentes mercados (Barrios, Restrepo, & Cerón, 2016); (Carulla & Ortega, 2016); (Aguilar, Cortés, & Allende, 2002). Un adecuado desempeño empresarial se considera un elemento decisivo en la sostenibilidad de cualquier negocio, dado que se presentan más posibilidades de estructurar estrategias organizacionales que contribuye al mejoramiento de su efectividad (Beer & Micheli, 2018).

Cuando se hace necesario analizar sistemas productivos dinámicos, es importante considerar el desarrollo e implementación de herramientas para apoyar la toma de decisiones, las cuales constituyen un conjunto relacionado y articulado de instrumentos, agrupados con diferentes nombres que incluyen títulos tales como: sistemas de apoyo a la toma de decisiones o herramientas de gestión, diversas metodologías que incluyen modelos computacionales, sistemas expertos, sistemas de gestión predial, sistemas de información geográfica, análisis multicriterio de decisiones, entre otros (Candelaria M., et al., 2011; Allende & Aguilar, 2007).

La ganadería en Colombia tiene una especial importancia por su aporte al producto interno bruto agropecuario y a la demanda agregada a través del consumo de los hogares. Si bien la ganadería es una actividad productiva creciente en el área que ocupa, cada vez sus efectos negativos para el suelo, diversidad biológica, deforestación las fuentes hídricas, calentamiento global y deterioro de la capa de ozono, entre otros, se

hacen más evidentes (Carmona, Bolívar, & Giraldo, 2005; Sadeghian, Rivera, & Gómez, 2001). El impacto ambiental de estos sistemas fluctúa entre el desgaste absoluto y reversible de los suelos hasta la restauración parcial de ecosistemas degradados.

La ganadería como estrategia de ocupación del territorio se basa entonces en plantas de alta capacidad invasora (gramíneas en su mayoría) que impiden el crecimiento de los árboles. El desarrollo de las gramíneas se estimula a través del pastoreo del ganado y el fuego, principalmente en sistemas extensivos; lo anterior implica una baja inversión en capital y trabajo por unidad de superficie, bajos costos de mantenimiento y la posibilidad de diferir estos costos en un lapso largo de tiempo (Murgueitio, 2003). Sin embargo, a través de un proceso convergente es factible lograr la restauración ecológica de zonas ganaderas degradadas, mediante el diseño inteligente de sistemas de producción agropecuaria, adaptados a contextos ambientales, económicos y sociales específicos (CEPAL-FAO-IICA, 2018; Murgueitio, 2003).

Por lo anterior, los sistemas de producción de lechería especializada (SPLE) en Colombia ameritan una mayor atención, para encontrar verdaderos niveles de productividad y competitividad, que permitan generar un protagonismo necesario para la economía del país y que esté acorde con la magnitud del área destinada a esta actividad, aportando elementos para salir de la actual crisis económica, social, técnica y ambiental (CEPAL-FAO-IICA, 2018; Cuenca J., Chavarro M., & Diaz G., 2008). Así mismo, y teniendo en cuenta la importancia de incentivar y fortalecer la competitividad del sector agropecuario en la economía del país (Parra P., Puyana, & Yepes, 2021), es necesario que se considere integralmente el sector productivo bovino en Colombia que permita dentro de la formulación de políticas públicas para el sector agropecuario, proponer estrategias de uso y optimización de los recursos. La implementación de un modelo de ganadería sostenible con herramientas de planificación que permitan considerar de manera integral criterios en las dimensiones: financiera, técnica, social y ambiental, requiere entre otras, del análisis y aplicación de técnicas de decisiones multicriterio.

Es importante avanzar en torno a las evidencias de la contribución del sector pecuario a la reducción de la pobreza, la seguridad alimentaria y nutricional, el consumo y la producción responsable y el uso sostenible de los recursos y los servicios ecosistémicos. Tales evidencias deben obtenerse en forma de indicadores y cifras que permitan a los tomadores

---

de decisiones generar incentivos y efectuar inversiones estratégicas, dado el impacto del sector en materia social, económica y ambiental (CEPAL-FAO-IICA, 2018).

Esta propuesta se centró en analizar el nivel de sostenibilidad de los SPLE, integrando las dimensiones: económica-financiera, técnica, social y ambiental, dado que estos sistemas aportan un nivel interesante de complejidad, debido a que integran tanto componentes agrícolas (producción de pasturas y cultivos forrajeros), como componentes animales (nutrición, reproducción, genética, fisiología); que es difícil encontrar cuando se analiza solo un cultivo agrícola especializado o una producción animal como la avicultura. Y también, a la importancia económica de la cadena láctea en Colombia debido entre otras razones, a que aproximadamente entre 2019 y 2021, la producción total de leche fresca presentó un incremento aproximadamente del 10% pasando de 7.094 a 7.821 millones de litros/año, este aumento es debido al incremento de las lluvias, implementación de pastos mejorados y disponibilidad de alimento para las hembras en ordeño. Cerca del 45% de esta producción total de leche fresca se destinó al procesamiento; el consumo de leche durante este mismo período, ha tenido un aumento significativo al estar entre los 158 y 162 litros por persona para el año 2021, registrándose una de las tendencias más altas en cuanto a consumo aparente alcanzando los 162 litros/habitante/año (FEDEGAN, 2021); es el cuarto productor de leche y ocupa un tercer lugar en el mercado en ventas de lácteos en América Latina, cuenta con porcentajes de proteína y grasa superiores a los de importantes productores mundiales, consolidándose como un sector con grandes posibilidades dentro de los Tratados de Libre Comercio (TLCs) firmados por Colombia (FEDEGAN, 2020).

Por otro lado, la crisis ocasionada por la pandemia del Covid-19, ha afectado en gran medida la economía mundial, es así como se han presentado grandes recesiones en muchos sectores y afectando los mercados de valores. Los efectos en el sector de la ganadería bovina, aún no se han cuantificado en gran medida, y no ha sido posible realizar evaluaciones formales, sin embargo, las actuales observaciones, revelan interrupciones en las cadenas de valor del ganado (FAO, 2020a). El impacto negativo se da en los rendimientos tanto para producción de carne como de leche. Debido a que la agricultura y la ganadería son sectores clave para la seguridad alimentaria, la nutrición y los medios de vida, es crucial que los gobiernos puedan identificar, cuantificar y comprender los impactos

existentes y potenciales, que les facilite proponer e implementar estrategias de mitigación y acción temprana (CIAT, 2020).

## Problema de Investigación

Las herramientas de planificación y control para la toma de decisiones que generalmente se han utilizado para analizar la sostenibilidad en la industria, han permitido obtener resultados satisfactorios de desempeño que ha llevado a posicionar estos sistemas productivos en un mercado competitivo y sostenible. Sin embargo, y debido a las características particulares que es necesario tener presente al momento de analizar la sostenibilidad de los SPLE, no ha sido posible la adopción de estas herramientas de toma de decisiones, puesto que el proceso de producción en estos sistemas está basado en el uso de seres vivos, los que poseen múltiples estímulos y por tanto los factores que inciden en la producción, son diversos y difíciles de predecir, como por ejemplo: alta incidencia del medio ambiente, dependencia a factores exógenos y a los recursos naturales, entre otros (Carulla & Ortega, 2016); (Allende & Aguilar, 2007).

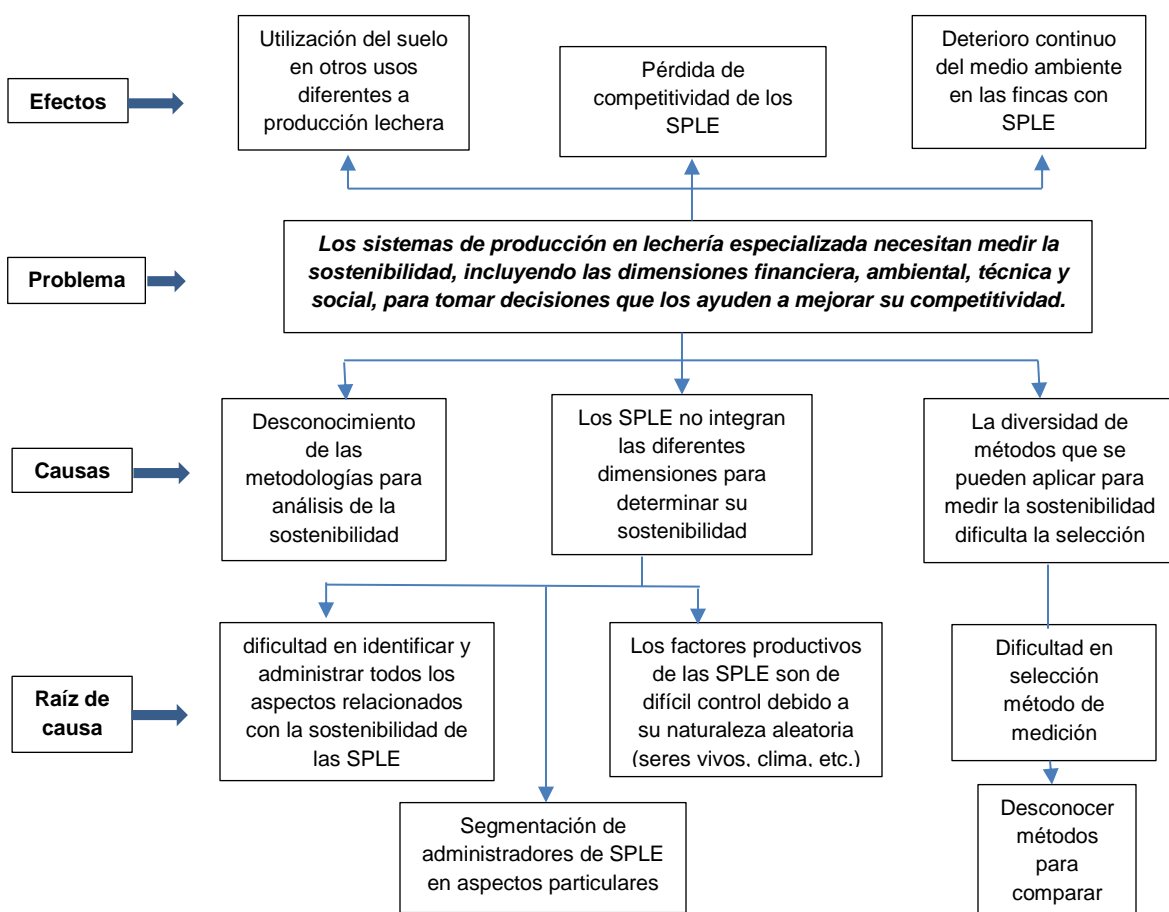
Todas estas características determinan además que la estandarización de los procesos productivos de los SPLE sea de alta complejidad, superando lo experimentado en los sistemas de producción de la industria, donde casi la totalidad de los factores productivos son controlables y por ende la definición de modelos que optimicen su gestión son factibles de desarrollar con alta exactitud. Mientras que, en los SPLE, los factores productivos le entregan una alta cuota de aleatoriedad a sus productos, lo que implica que los modelos desarrollados que permitirían optimizar su gestión no siempre definen con precisión su comportamiento (Aguilera, Bruna, Brzonic & Cerda, 2003; Dixon, Gulliver & Gibbon, 2001).

Para mejorar la sostenibilidad de las granjas lecheras se requiere el desarrollo de herramientas de gestión que ayuden a los productores en la toma de decisiones sobre diferentes aspectos, tales como: producción de forraje, nutrición, manejo de desechos, almacenamiento de comida, y cuidado de animales, entre otros. La Universidad de Cornell, (2022), viene impulsando un programa denominado *Dairy Sustainability Key Performance Indicators*, el cual consiste en implementar a nivel de sistemas de producción de leche, indicadores ecológicos, que evalúan la eficiencia en el uso de nutrientes de la granja, con el fin de que el productor pueda medir la rentabilidad de su sistema productivo y así, poder alcanzar la sostenibilidad y competitividad.

Es preciso entonces proponer nuevas herramientas de planificación y control, que complementen las existentes y que permitan al investigador, y al productor ganadero analizar su sistema productivo, con el fin, de tomar decisiones respecto a los niveles de sostenibilidad y competitividad, exigidos por los diferentes mercados y los indicadores ayudan a poner la sostenibilidad en términos concretos que demuestran una nueva forma de medir el progreso (Díaz-Balteiro, y otros, 2018).

En la figura 0-1, se analiza bajo la estructura del árbol de problemas, las relaciones de causa y efecto del problema planteado.

**Figura 0-1:** Árbol del problema en lechería especializada.



## Pregunta de investigación

Del análisis de la justificación y del problema de investigación surge la siguiente pregunta:

¿Cómo medir la sostenibilidad de los sistemas de producción lechería especializada en el trópico alto de Antioquía, cuando se integran las dimensiones: económica-financiera, técnica, social y ambiental?.

Con resolver esta pregunta, se busca que estos sistemas productivos alcancen un nivel de competitividad empresarial.

Con el fin de resolver esta pregunta se plantean los siguientes objetivos de investigación.

## **Objetivos de investigación**

### **General**

Desarrollar un modelo de medición de la sostenibilidad y apoyo a la toma de decisiones que integre y construya las dimensiones financiera, ambiental, técnica y social, combinando los recursos en el proceso de lograr un mejor nivel de competitividad de los sistemas de producción en lechería especializada.

### **Específicos**

- Analizar las metodologías implementadas en el marco de análisis de la sostenibilidad en sistemas de producción lechería especializada.
- Proponer un modelo para determinar indicador integral de sostenibilidad en lechería especializada IISLE, con dimensiones: financiera, técnica, social y ambiental.
- Aplicar y comparar varios métodos multicriterio para determinar el sistema de producción lechería especializada más sostenible.
- Validar los métodos analizados, en un estudio de caso a varios sistemas de producción lechería especializada en Antioquía.

## **Hipótesis de investigación**



La adopción de herramientas como los modelos de indicadores integrales y los métodos de decisión multicriterio, permitirán medir la sostenibilidad de los SPLE, con base a las relaciones entre las dimensiones económica-financiera, ambiental, técnica y social.

## **Tipo de investigación**

Esta investigación se considera que es de tipo descriptivo, exploratorio y explicativo, en donde se describe a profundidad la sostenibilidad de los sistemas de producción lechería especializada, se analizan aspectos concretos de la sostenibilidad económico-financiera, técnica, social y ambiental y se mide la sostenibilidad implementando un modelo que combina diferentes métodos.

## **Relevancia del estudio de caso para la agenda actual**

El acelerado crecimiento del sector pecuario en América Latina y el Caribe, dos veces superior al crecimiento promedio a nivel mundial, ha ejercido alta presión sobre la base de los recursos naturales y particularmente la pérdida de cobertura forestal para ampliar la frontera en sistemas de producción de ganado en pastoreo o la producción de granos para los sistemas intensivos de producción avícola y porcina. En estos sistemas, los principales problemas que se enfrentan son creciente degradación de las pasturas y su consecuente pérdida de productividad, la deforestación, una creciente dependencia de insumos externos, tecnología y material genético, alta incidencia de enfermedades y deficiencias de organización y comercialización (CEPAL-FAO-IICA, 2018).

Es de anotar, que de continuar con el desgaste y la degradación de los suelos, es muy probable, que la producción pecuaria se enfrente a problemas de competencia por tierras para la producción agrícola o agro energéticas, corriendo el riesgo de ser desplazada a zonas marginales. Se requiere entonces, que los actores de esta región, involucrados en estos sistemas productivos, establezcan políticas que les permita entre otras acciones, mejorar su capacidad de análisis y manejo de riesgos en el sector ganadero, así como, desarrollar estrategias de producción sostenibles desde el punto de vista económico, técnico, social y ambiental. El proceso de expansión de la ganadería que están viviendo los países de América Latina, representa tanto una oportunidad como una amenaza para el desarrollo sustentable de la región, debido a que, no sólo es una oportunidad para

generar riqueza y mitigar la pobreza si se toman las decisiones políticas adecuadas y se promueven sistemas de producción ganaderos sustentables y amigables con el ambiente, sino que además, es una amenaza si la expansión de la actividad continúa sin considerar los costos ambientales y los potenciales efectos de marginalización de los pequeños productores (CEPAL-FAO-IICA, 2018).

Considerando la disponibilidad de tierras que caracteriza a la región donde se desarrollan los sistemas de producción de ganadería, el proceso de expansión ganadera no es un fenómeno aislado del desempeño de los otros grandes subsectores; como son la agricultura de granos y los sistemas forestales. Sin lugar a duda por sus dimensiones territoriales y amenazas ambientales la agricultura de granos es el subsector que más se relaciona con la ganadería en un proceso de crecimiento con grandes interacciones. Es por ello, que se hace necesario la implementación de estrategias que propendan hacia una planificación del crecimiento y la intensificación que capitalice las sinergias positivas que la integración de la agricultura con la pecuaria y con los sistemas forestales pueden otorgar a la sostenibilidad y competitividad de los sistemas de producción. (CEPAL-FAO-IICA, 2018).

Por otro lado, y de acuerdo con el análisis de la situación actual de la cadena láctea, se ha estructurado un enfoque con el fin de determinar los desafíos a enfrentar en este sector, el cual se centra en tres pilares: Viabilidad económica, que consiste en posicionar el sector como referente competitivo en mercados internacionales y eficiente en el desempeño productivo en el ámbito nacional; Viabilidad ambiental, regulación del abastecimiento hídrico, conservación de la biodiversidad y de los suelos y por último Viabilidad social, análisis del desempeño a nivel social de la producción, teniendo presente específicamente el factor humano, la tierra y el ordenamiento productivo (Minagricultura, 2020).

## **Contribución del presente trabajo**

De acuerdo con el cumplimiento de los objetivos, el presente estudio permite comprender las complejas interacciones que se presentan al interior de los sistemas de producción lechería especializada, se aprende respecto a los diferentes métodos y metodologías que se han implementado en el análisis y evaluación de la sostenibilidad en estos sistemas productivos. Permite, además, aprender sobre los diferentes factores y variables

involucradas a nivel financiero, técnico, social y ambiental, cuáles de estas variables son las que tienen mayor incidencia en la sostenibilidad de estos sistemas productivos. El estudio permite establecer el aprendizaje frente a la combinación y comparación de métodos de toma de decisiones multicriterio para el análisis de la sostenibilidad de estos sistemas productivos, métodos que, a pesar de haber sido aplicados para análisis de sostenibilidad a nivel general, no se habían implementado para analizar la sostenibilidad de SPLE. Además, lo que también se aprende es cuál es el resultado al combinar el método AHP y un indicador integral, para medir los niveles de sostenibilidad de los sistemas de producción lechería especializada. Con esta investigación se contribuye al conocimiento, puesto que se proponen y desarrollan nuevos métodos para medir la sostenibilidad en SPLE. Los resultados a los cuales se llega con esta propuesta permiten aportar a pequeños y medianos productores de leche una herramienta confiable para la toma de decisiones, con el fin de analizar la sostenibilidad y la competitividad de su sistema productivo y así, responder a las nuevas tendencias mundiales.

Con respecto al cumplimiento del objetivo: “Analizar las metodologías implementadas en el marco de análisis de la sostenibilidad en sistemas de producción lechería especializada”. Se revisaron y analizaron los trabajos de varios autores que han propuesto diferentes metodologías, entre los cuales se mencionan (Mathios, 2019); (CEPAL-FAO-IICA, 2018) (Ruiz, Barahona-Rosales, & Bolívar-Vergara, 2017); (Nacer, Hamidat, & Nadjemi, 2016); (Chand, Sirohi, & Sirohi, 2015); (Castellini, et al., 2012); (Arias-Reverón, et al, 2012); (Franco, Gaspar, & Mesias, 2012); (Tommasino, Ferreira, Marzaroli, & Gutiérrez, 2012); (Bolívar, 2011); (Fumagalli, y otros, 2011); (Mulindwa, et al., 2011); (Nousiainen, Tuori, Turtola, & Huhtanen, 2011 ); (Barcellos de P., 2010); (Ríos A., 2010); (Astier, Masera, & Galván-Miyoshi, 2008); (Van Calker, Berentsen, Giesen, & Huirne, 2008); (Nahed, García, Mena, & Castel, 2006); (Nasca, Toranzos, & Banegas, 2006); (Murillo, Villalobos, Sáenz, & Vargas, 2004a y 2004b); (Pérez, Rincón, Materán, Montiel, & Urdaneta, 2002). Con este trabajo se aporta al conocimiento, de un estudio detallado de las diferentes investigaciones que han sido desarrolladas al interior de los SPLE, donde los autores han implementado diversas metodologías (índices e indicadores integrales, simulación, programación lineal, simulación estocástica, optimización, matriz de fortalezas y debilidades, métodos multicriterio, entre otras), para analizar diferentes aspectos relacionados con la sostenibilidad económica, técnica, social y ambiental. El estudio de análisis y revisión se

recopila en el artículo que está en revisión para publicación (Ríos, G. P., Botero, S. Sustainability analysis framework in specialized dairy: A description).

Respecto al objetivo: “Proponer un modelo para determinar indicador integral de sostenibilidad en lechería especializada IISLE, con criterios en las dimensiones: financiera, técnica, social y ambiental,” se contribuye al conocimiento con un nuevo modelo, donde se calculan indicadores de sostenibilidad financiera, técnica, social y ambiental, y se combina con el proceso analítico jerárquico (AHP, del inglés Analytic Hierarchy Process), utilizado para determinar la priorización de dimensiones y subcriterios. Se propone un modelo de indicador integral para medir niveles de sostenibilidad en lechería especializada y mediante un análisis de clúster, se agrupan las diferentes alternativas de acuerdo a ciertos resultados comunes. Este estudio publicado por la revista “Sustainability” se puede revisar en el siguiente link: <https://doi.org/10.3390/su12229595>

Para los objetivos planteados como: “Aplicar y comparar varios métodos multicriterio para determinar el SPBL más sostenible” y “Validar los métodos analizados, en varios sistemas de producción lechería especializada en Antioquía”. Se contribuye al conocimiento con un nuevo modelo que consiste en combinar un modelo de indicador integral y un método de decisión multicriterio para la priorización de criterios y subcriterios, asimismo, se contribuye con la aplicación de varios métodos multicriterio para medir la sostenibilidad y poder así contrastar las bondades del modelo de indicador integral en un estudio de caso, en los municipios de La Unión y San Pedro de los Milagros, ubicados en el departamento de Antioquía, Colombia, aquí mediante un análisis de correlación se comparan los métodos multicriterio estudiados. Este estudio se publicará en el siguiente artículo que está en revisión (Ríos, G. P., Botero, S. Comparison of AHP, TOPSIS and VIKOR methods to determine the most sustainable milk production system).

Es importante mencionar, el impacto generado por la investigación en la región de Antioquía donde se llevó a cabo el estudio de caso: en cada uno de los sistemas productivos donde se levantó la información primaria, se creó una base de datos con toda la información económica relacionada, lo que permitió estructurar en una hoja de cálculo en Microsoft Excel, los costos de producción de las praderas, los costos de producción de leche, los costos de inventario de novillas para reemplazo. De igual manera, se determinó la valoración de todos los activos biológicos y físicos involucrados en la actividad

económica. Por otro lado, se actualizó la base de datos en los registros productivos y reproductivos de cada uno de los animales en producción, con el fin de establecer la eficiencia productiva de cada uno de los sistemas productivos en estudio.

## **Resumen del contenido**

El documento de tesis comprende cinco capítulos. Los dos primeros capítulos corresponden al marco teórico: En el capítulo uno, se hace referencia al Marco Teórico que comprende el marco de análisis de la sostenibilidad en sistemas de producción lechería especializada y los aspectos más relevantes implicados en su análisis, se aclara el término sostenibilidad frente al de sustentabilidad, se revisan las características de las dimensiones económica-financiera, técnica, social y ambiental, se analizan las diferentes metodologías que se han implementado en diversas investigaciones que se han realizado en el campo de la sostenibilidad en los sistemas agropecuarios. Se discute sobre los métodos de decisión multicriterio, los diferentes métodos que se han propuestos en varias áreas del conocimiento, las consideraciones generales que se deben tener presente al momento de elegir el mejor o los mejores métodos para un determinado problema, se revisan los estudios donde se han aplicado estos métodos para analizar la sostenibilidad y se revisan los métodos AHP, TOPSIS y VIKOR, los cuales se implementarán en este estudio. En el capítulo dos se analiza el contexto donde se ubica la investigación y comprende, la caracterización y análisis de los sistemas de producción bovinos de leche en Colombia, se analizan las características más importantes del sistema de producción pastoreo intensivo suplementado en lechería especializada, donde se implementó el estudio de caso y se complementa con la revisión de la competitividad de estos sistemas productivos.

En el capítulo tres, se detalla la metodología de investigación propuesta, se describe la metodología desarrollada en cuatro etapas: etapa 1, Análisis de metodologías implementadas en análisis de sostenibilidad; etapa 2, Proponer un modelo de indicador integral de sostenibilidad; etapa 3, aplicar diferentes métodos de selección multicriterio; y etapa 4, proponer un contraste entre los métodos aplicados, con el fin de analizar la robustez del modelo de indicador integral y los métodos de decisión multicriterio.

En el capítulo cuatro, se presenta el estudio de caso, implementación del modelo de indicador integral y la aplicación de los métodos multicriterio a varias alternativas de sistemas de producción lechería especializada en el departamento de Antioquia: se

describe el área de estudio y las características de los sistemas productivos en análisis. En el capítulo cinco se exponen los resultados y la discusión y el capítulo seis contiene las conclusiones y recomendaciones. Finalmente se abordan los alcances, limitaciones y futuras investigaciones.

# 1. Marco Teórico

Para el desarrollo de este capítulo, se realizó una revisión sistemática de literatura mediante herramientas computacionales con el fin de identificar, evaluar y analizar los documentos disponibles relacionados con el tema de interés de manera formal y estructurada. Este capítulo tiene como finalidad describir y analizar las diferentes investigaciones que se han llevado a cabo en el análisis y evaluación de la sostenibilidad. Primero se parte de la definición y utilización de los términos sostenibilidad y sustentabilidad, posteriormente se contextualiza la sostenibilidad, luego se presenta una revisión sobre el análisis general del concepto, los diferentes modelos propuestos y finalmente se revisan estudios donde se aplican los métodos de decisión multicriterio en el análisis de sostenibilidad. De igual manera, en la revisión del estado del arte respecto a la toma de decisiones multicriterio, se consultaron bases de datos (libros, artículos científicos, informes, memorias, páginas web, entre otros). Inicialmente, se realiza una introducción a los métodos de toma de decisiones, luego se analizan algunas consideraciones para selección de métodos multicriterio a utilizar, posteriormente se revisan los métodos seleccionados para aplicar en este estudio.

Algunas de las principales referencias basadas para este estudio fueron (Diaz-Balteiro, et al., 2018); (Diaz-Balteiro et al., 2017); (Janeiro & Patel, 2015); (Solomie, Miranda, & Alfons, 2014); (Castellini, et al., 2012); (Munda, 2008); (Van Calker, Berentsen, Romero, Giesen, & Huirne, 2006); (Romero, 1993); (Fernández & Escribano, 2011); (Nädäban, Dzitac, & Dzitac, 2016); (Smith, y otros, 2000); (Saaty, 2012, 2000, 1990 y 1977); entre otros.





## 1.1 Definición y utilización de los términos sostenibilidad y sustentabilidad

Sostenibilidad y sustentabilidad son dos términos muy controvertidos que se han utilizado ambigüamente, lo que se hace necesario aclarar su definición y utilización. Al respecto, es importante mencionar el trabajo de Carreño Melendez & Carrasco Aquino, (2015), titulado “Epistemología de la Sustentabilidad”, los autores realizan un extenso análisis de la utilización de ambos conceptos desde sus inicios, haciendo referencia a los trabajos de varios autores sobre sus propias consideraciones y concluyen desde su posición un tanto filosófica *“la ciencia de la sostenibilidad no es una ciencia madura. Se puede decir que es un programa de investigación de incipiente desarrollo, debido a que carece de principios propios para la construcción de conocimiento y de un cuerpo autónomo de conocimiento que le permitan comprender la sostenibilidad de los sistemas”*. Así mismo, estos autores afirman que *“si consideramos que la sustentabilidad es un proceso multidimensional, que implica cambios en las estructuras socioeconómicas, territoriales y ambientales, a efecto de elevar los niveles de vida de los habitantes y garantizar una relación armónica entre la sociedad y la naturaleza, entonces el territorio es el punto de convergencia de esta relación dialéctica; naturaleza y sociedad no son dos elementos separados, forman parte de esa unidad dialéctica”*. También se concluye que *“la sustentabilidad y el desarrollo sustentable son considerados como dos categorías procesales contemporáneas con múltiples dimensiones, cuyas interacciones dan funcionalidad a los componentes y definen el comportamiento de los agentes económicos, los mercados y las propias economías. Este proceso funcional multivariable genera resultados muy heterogéneos, dando pauta a la interpretación y explicación conductual, desde diferentes perspectivas teóricas”*.

Algunos autores abordan la diferencia de estos dos términos, partiendo del análisis de los términos “Desarrollo Sustentable” y “Desarrollo Sostenible”. En este sentido el término sustentable supone un alcance más restringido, partiendo de la definición dada en el informe Declaración de Estocolmo, Principio 2, (1972), donde se establece que es *“un proceso por el cual se preservan los recursos naturales en beneficio de las generaciones presentes y futuras”*. Sin embargo, se plantea que a partir de la presentación del informe Brundtland en 1987 (NACIONES UNIDAS, 1987) *“el término de ‘desarrollo sustentable’ pasa a otra etapa superior, el de ‘desarrollo sostenible’*. Luego en la declaración de

Johannesburgo de 2002 (NACIONES UNIDAS, 2002), se establece una definición de desarrollo sostenible: “...se entiende como el proceso mediante el cual se satisfacen las necesidades económicas, sociales, de diversidad cultural y de un medio ambiente sano de la actual generación, sin poner en riesgo la satisfacción de estas a las generaciones futuras”. En este sentido el concepto de sostenibilidad se plantea más amplio que el de sustentabilidad.

Por otro lado, continuando con el análisis de los conceptos, se ha encontrado que ambos términos se relacionan con significados semejantes en diversas publicaciones científicas, referidos al informe de “Nuestro futuro común” más conocido como Informe Brundtland, como desarrollo sustentable en vez de sostenible, y se traducen como sinónimos (Rivera-Hernández, Alcántara-Salinas, Blanco-Orozco, Pascal, & Pérez-Sato, 2017), por lo que es frecuente que en América Latina se refiera a él como "desarrollo sustentable", mientras que en España, y en muchas de las traducciones oficiales de organismos internacionales se expresa como "desarrollo sostenible", sin que conste ninguna diferencia de significado aparente (López-Ridaura, López-Hernández, & Ancona P., 2005). En la literatura en español, es común encontrar la utilización de los términos sostenible y sustentable; desarrollo sostenible y desarrollo sustentable; sostenibilidad y sustentabilidad. Sin embargo, quienes utilizan las expresiones se fundamentan en el término *sustainability*, como referente para sus publicaciones (Cortés M & Peña R, 2015). Por mencionar entre otros, se pueden encontrar artículos científicos que traducen *sustainability* como sostenibilidad, y a su vez, otros artículos que traducen el término como sustentabilidad, incluso cuando la referencia citada es la misma (Rivera-Hernández et al., 2017).

Según Méndez Chiriboga, (2012), tanto sostenibilidad como sustentabilidad cuando son aplicados al desarrollo, no muestran mayor diferenciación al respecto, al parecer, su diferencia corresponde a la ubicación geográfica (lugar donde se utilice la expresión) o léxico, sin embargo, no presenta cambios en cuanto a su finalidad la cual se expresa como “satisfacer las necesidades de la generación presente sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras”. (Gallopín, 2003); (Cortés M & Peña R, 2015).

Consultando el significado de los términos en el diccionario de la Real Academia Española (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 2014), se definen los conceptos como se expresa a continuación:

“Sostenible: dicho de un proceso que puede mantenerse por sí mismo, como lo hace, por ejemplo, un desarrollo económico sin ayuda exterior ni merma de los recursos existentes”.

“Sostener: sustentar, mantener firme algo”

“Sustentable: que se puede sustentar o defender con razones”

“Sustentar: sostener algo para que no se caiga o se tuerza”

Siguiendo con el análisis de las diferencias desde el pensamiento lingüístico, y teniendo en cuenta lo referido por Rivera-Hernández, et al., (2017) y por la RAE (2014), donde se menciona que ambos términos son adjetivos verbales o postverbales, ya que se derivan de los verbos “sostener” y “sustentar” respectivamente y que pertenecen al tipo de adjetivos que se forman mediante el agregado del sufijo -able o -ible a la raíz del verbo, El sufijo -ble indica capacidad o aptitud para recibir la acción del verbo, es decir, “sostenible” es lo que es “capaz de sostener o de sostenerse” y “sustentable” aquello que es “capaz de sustentar o sustentarse”. De este modo, es posible concluir que el “desarrollo sostenible” es “el desarrollo que puede o es capaz de sostenerse” y el “desarrollo sustentable” es “el que puede o es capaz de sustentarse” (Rivera-Hernández, et al., 2017). Por lo tanto, se puede afirmar que, gramaticalmente, el uso de ambos adjetivos como calificativos del sustantivo “desarrollo” es válido. De igual manera, el diccionario de la RAE establece los verbos “sostener” y “sustentar”, como sinónimos casi perfectos, por lo cual y comparados desde este aspecto, *“forzosamente se debe concluir que, tomando en cuenta estrictamente el lenguaje, el léxico y la semántica, los verbos “sostener” y “sustentar” son sinónimos y, por tanto, su uso es indistinto”* (Rivera-Hernández et al., 2017); (Bermejo G., 2018).

Teniendo conciencia de que en la literatura existe un debate sobre la aplicación de estos dos términos, y con el fin de esclarecer las posibles interpretaciones que se den a éstos, se considera que la mejor opción para el presente trabajo es explicar la definición que se adopta para el término “sostenibilidad”. En este orden de ideas, en este trabajo se utiliza el término “sostenibilidad” partiendo de la definición del concepto de desarrollo sostenible en el Informe Brundtland: *“El desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”*. Considerando que esta interpretación es tridimensional, ya que reúne la dimensión económica y la social en el concepto de desarrollo y la tercera es la sostenibilidad (Bermejo G., 2018).

## 1. 2 Dimensiones de la sostenibilidad

El concepto de sostenibilidad es complejo y multidimensional que implica entender la interrelación entre aspectos ambientales, económicos y sociales (Van der Linden, De Olde, Mostert, & de Boer, 2020); (CEPAL-FAO-IICA, 2018); (Bolívar, 2011); (Meul, Nevens, & Reheul, 2009); (Astier et al., 2008); (Murillo et al., 2004a, 2004b). El concepto surgió en la década de los 80 del siglo pasado, originado por la necesidad de cambiar el modelo de uso de los recursos naturales y por la búsqueda de una nueva forma de desarrollo de la sociedad (Deponti, Eckert, & Azambuja, 2002); (Fernández L., 2005); (Goodland & Daly, 1994). La primera definición internacionalmente reconocida, creada por la Asamblea de las Naciones Unidas en 1987, asocia la sostenibilidad al desarrollo: *“aquel desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades”* (Goodland & Daly, 1994). Desde la Cumbre de la Tierra, en 1992, el manejo sostenible de agroecosistemas se ha convertido en uno de los objetivos a alcanzar por parte de las políticas forestales y agrícolas en muchos países. Sin embargo, aún no se ha logrado un consenso en su significado exacto u operacional, debido a que el concepto de sostenibilidad puede variar a través del tiempo y tener un significado diferente para cada persona (Rigby & Cáceres, 2001); (Rigby, Woodhouse, Young & Burton, 2001) Según Martínez Alier & Roca Jusmet, (2013), la sustentabilidad es sobre todo una *cuestión de grado y de perspectiva temporal; en sentido estricto, sólo una economía humana basada únicamente en fuentes energéticas renovables y en los ciclos cerrados de la materia, puede potencialmente ser sostenible de manera indefinida (dejando de lado, por supuesto, que en un día muy lejano, incluso la energía solar dejará de fluir).*

En la rama de los sistemas de producción ganadera, el concepto de sostenibilidad incluye la protección del medio ambiente, el bienestar animal, la biodiversidad, la seguridad y calidad de los alimentos, los problemas sociales y la competitividad económica, todos estos temas deben abordarse al considerar la diversificación de estos sistemas respecto a uso de recursos, grado de intensificación, especies y la orientación de la producción bajo diferentes escalas (Sturaro, et al, 2013)

El desarrollo sostenible implica dos ideas principales sobre las que existe un amplio consenso: 1) el desarrollo tiene una dimensión económica, social y ambiental y sólo será

sostenible si se logra el equilibrio entre los distintos factores que influyen en la calidad de vida. 2) la generación actual tiene la obligación frente a las generaciones futuras "de dejar suficientes recursos para que puedan disfrutar, al menos del mismo grado de bienestar que ellos" (CEPAL-FAO-IICA, 2018); (Martínez Alier & Roca Jusmet, 2013) (Bolívar, 2011). A continuación, se describen las dimensiones de la sostenibilidad.

### **1.2.1 Dimensión económica-financiera**

A nivel económico-financiero de los SPLE es sobre los animales en producción que se define mayormente el nivel de productividad y los costos de producción. La principal característica de estos sistemas productivos es el uso relativamente intensivo de los recursos de producción, obteniendo alta productividad biológica por unidad animal o unidad de área, medida en litros leche animal / día, aunque los altos costos de producción implican también márgenes reducidos de utilidad por unidad producida (Mathios, 2019); (Ruiz, Barahona-Rosales, & Bolívar-Vergara, 2018); (Ríos A., 2010); (Murillo et al, 2004b). A nivel económico, las ganaderías generan ingresos, para autosostenerse, los cuales dan lugar al objetivo de maximizarlos por vaca en producción. También se afirma que existe un mercado seguro para la venta de su producto. Sin embargo, es importante mencionar que se requiere un capital bastante elevado, el cual está representado en el valor de la tierra, los animales en producción, el valor de inventarios de novillas, el valor de los sistemas de ordeño mecánico, el mejoramiento de pasturas, etc., y unos costos de producción altos representados en suplementación, fertilización y manejo de potreros, asistencia técnica, mano de obra permanente, entre otros, lo que amenaza la reducción de los márgenes de utilidad (Franco, Gaspar, & Mesias, 2012).

El uso de índices financieros proporciona una base de información concreta para evaluar y mejorar la sostenibilidad económica de las granjas. Los enfoques de evaluación europeos utilizan predominantemente tres indicadores para representar la sostenibilidad económica: rentabilidad, liquidez y estabilidad (Zorn, Esteves, Baur, & Lips, 2018)

### **1.2.2 Dimensión técnica**

Es importante determinar qué tan eficientemente es manejada en la ganadería la reproducción del hato, ya que esta determina en gran medida su productividad. La eficiencia reproductiva en un hato ha sido medida estudiando distintas características

reproductivas en las vacas, lo cual ha derivado en la existencia de diferentes métodos o normas para apreciar el estado reproductivo del ganado (Murillo et al, 2004b). Estos métodos van desde la obtención de parámetros simples como el intervalo entre partos (Urdaneta, Materan & Pena, 2004), hasta índices más complejos desde el punto de vista de su estructura, los cuales, al incluir un mayor número de parámetros o medidas, buscan entregar un fiel reflejo de la fertilidad real y comparable entre los distintos sistemas productivos y tipos de animales (Ramírez, 2001); (Urdaneta et al., 2004). Esta eficiencia reproductiva de los hatos se evalúa con la adopción y la adecuada utilización de los registros reproductivos ya que es la única forma de lograr una tabla real de la fertilidad del hato (Ramírez, 2001); (Wattiaux, 2000). Existen distintos parámetros, índices, criterios y forma de evaluar la eficiencia reproductiva en bovinos. Sin embargo, el uso continuo de los índices ha sido poco aceptado en el medio, los técnicos y ganaderos tienden a utilizar solo algunos criterios como el intervalo entre partos, duración de lactancia, días abiertos, tasa de concepción (Casas & Tewolde, 2001); (Urdaneta et al., 2004); (Wattiaux, 2000).

### **1.2.3 Dimensión social**

Los SPLE, se caracterizan por la participación y papel del propietario, y en muchos casos acompañados de un mayordomo y algunos operarios. Según Murillo et al, (2004b); se destacan como variables importantes: el nivel educativo de los propietarios, la estabilidad de la mano de obra y el acceso a servicios sociales por parte de esta, (reflejado en su calidad de vida), la capacitación del recurso humano (reflejada en los objetivos de minimizar el contacto con agroquímicos y maximizar la seguridad laboral). Para determinar la protección de los trabajadores durante las labores de aplicación de herbicidas y baños contra ectoparásitos, se han propuesto criterios como el uso de equipo de protección y tipo de capacitación recibida para la correcta manipulación de productos químicos (Noguera, 2003); (Fernández, Gómez-Limón, & López, 2010); (Goodland, 2002); (López-Ridaura et al, 2005) Con respecto a los beneficios reales percibidos por los empleados de las ganaderías, se proponen criterios relacionados con salario mano de obra permanente/salario mínimo nacional para actividades de tipo agropecuario (expresado en \$/mes), escolaridad de la mano de obra permanente de campo, acceso a servicios sociales, estabilidad laboral, entre otros (Pérez B., Velásquez A., & Arboleda Z., 2020); (Murillo et al, 2004; Masera et al, 1999). De igual manera a nivel social afirma Riechmann,

(2003), que debe promoverse que se conserve tanto la equidad social como preservar la diversidad cultural.

### **1.2.4 Dimensión ambiental**

Respecto a esta dimensión, si bien la ganadería es una actividad productiva creciente en el área que ocupa, cada vez sus efectos negativos para el suelo, diversidad biológica, deforestación, contaminación de fuentes hídricas, calentamiento global y deterioro de la capa de ozono, entre otros, se hacen más evidentes (Carmona, Bolívar, & Giraldo, 2005); (Sadeghian et al, 2001). Los principales impactos ambientales generados por la lechería especializada en la producción primaria se podrían resumir así: compactación del suelo resultante del sobrepastoreo, procesos que causan erosión en terracetos, deslizamientos o avalanchas (Niemeijer & De Groot, 2008). De acuerdo con el estudio de Restrepo, (2013), el uso controlado de forrajes como alimento para el ganado puede reducir las emisiones de gas de efecto invernadero, problemas de nitrato en el suelo, entre otros y para el caso de la producción de leche, si las vacas consumen forrajes en grandes cantidades, se puede generar contaminación ambiental y un incremento en los costos. La cobertura vegetal boscosa trae asociados cambios severos en la regulación hídrica y la erosión, así como la contaminación de nacimientos de agua, contaminación química de alimentos y residuos de antibióticos y otras drogas, entre otros (Bélanger, Vanasse, Parent, Allard, & Pellerin, 2012). Todos estos tipos de degradación han llevado a una pérdida acelerada e irreversible del suelo y con ello la productividad, lo que conduce a una ganadería más costosa, menos competitiva e insostenible a través del tiempo (Noguera, 2003); (Murillo et al, 2004b); (Maser, et al, 1999); (Murgueitio, 2003).

Con respecto a las consideraciones de Riechmann, (2003), a nivel ambiental, es importante señalar que el autor indica que para conseguir la sostenibilidad ambiental se han de respetar las siguientes reglas o criterios operativos: Reducir a cero las intervenciones acumulativas y los daños irreversibles. Las tasas de recolección de los recursos renovables deben ser iguales a las tasas de regeneración de estos recursos. La tasa de vaciado de los recursos no renovables debe ser igual a la tasa de creación de recursos renovables. Las tasas de emisión de residuos deben ser iguales a la capacidad natural de asimilación de los ecosistemas a los que se emiten esos residuos. Deben favorecerse las tecnologías que aumenten la productividad de los recursos frente a las

tecnologías que incrementen la cantidad extraída de recursos. Asimismo, Martínez Alier & Roca Jusmet, (2013), consideran que la economía ecológica se preocupa por la equidad intergeneracional, por los efectos que las distintas actividades económicas generan sobre el medio natural y por las posibles consecuencias que se esperarían en el futuro, en este sentido, la economía sería sustentable, si no degradase el medio natural en sus diversas funciones.

### **1.3 Introducción a los métodos de decisión multicriterio**

El análisis multicriterio constituye un instrumento racional y objetivo tanto para mejorar la comprensión de los procesos de decisión que subyacen a los procesos sistémicos, como para ayudar a los centros decisores a abordar la necesaria comparación entre alternativas. La teoría de la decisión multicriterio ha sido estudiada extensamente en el ámbito de las ciencias, de la economía, de las ingenierías, los métodos más usados en la actualidad son producto de las investigaciones realizadas en las áreas del conocimiento antes mencionadas (Romero, 1993); (Fernández & Escribano, 2011). En las últimas décadas, las técnicas MCDM (siglas en inglés de Multicriteria Decision Making), se han convertido en una rama importante de la investigación operativa (Nädäban, Dzitac & Dzitac, 2016). Desde el punto de vista de las aplicaciones en las empresas y organizaciones, los métodos de toma de decisiones se desarrollan en dos formas: decisión multicriterio discreta, la cual se interesa por la elección entre un número finito de alternativas posibles (proyectos, inversiones, candidatos, etc.); decisión multicriterio continua, se centra fundamentalmente en la programación lineal, con criterios múltiples, generalizando al caso de criterios múltiples, los resultados de programación lineal y de sus algoritmos asociados (Smith, y otros, 2000).

Las situaciones en que un decisor se ve enfrentado con una elección, en presencia de criterios múltiples son muy numerosas. El decisor se encuentra en posición de escoger entre varias posibilidades denominadas alternativas, el conjunto de las cuales constituye el llamado conjunto de elección; para escoger en este conjunto de elección el decisor tiene diversos puntos de vista, denominados criterios y subcriterios. Estos criterios y subcriterios son, al menos, parcialmente contradictorios en el sentido de que, si el decisor adopta uno de dichos puntos de vista, no escogerá la misma alternativa que si se basa en otro criterio



y subcriterio (Romero, 1993); (Smith et al, 2000); (Belton & Stewart, 2003); (Figueira, Greco & Ehrgott, 2005); (Fernández y Escribano, 2011).

Para Roy y Słowiński, (2013); Smith et al, (2000) y Linkov et al, (2005), los métodos de análisis multicriterio de decisión deben su clasificación a tres escuelas de pensamiento como:

- Modelos de Optimización o Medidas del Valor: entre los que se pueden mencionar: las Funciones de Valor Multiatributo (MAVT), los Promedios Ponderados, la Teoría del Valor Medible, método de Geoffrion, método de Zionts-Wallenius, los MUAT (Teoría de la Utilidad Multiatributo), AHP (Proceso Analítico Jerárquico), ANP (Proceso de Red Analítica).
- Modelos por Nivel de Metas o Aspiraciones: se conocen en este grupo la Programación de Compromiso, Programación por Metas y SEMOPS. TOPSIS (Técnica para el Orden de Preferencia por Similitud a Solución Ideal), VIKOR (Optimización Multidisciplinar y Solución de Compromiso), MCS (Simulación Montecarlo), entre otros.
- Modelos de Clasificación: entre otros están, los métodos ELECTRE I, II, III y IV, el método Valoración de Preferencias sobre las Tasas de Intercambio, los Hiper y Meta Juegos, el Método de Concordancia, la Clasificación Conjuntiva, el Método de Exclusión y los métodos PROMETHEE I, II y III.

Según Romero, (1993), el problema de toma de decisiones incluye cuatro niveles principales que se resumen así: alternativas, formulación y selección de criterios y subcriterios, peso de criterios, evaluación y tratamiento final. El primer paso de los MCDM es la formulación de alternativas a partir de un conjunto de criterios y subcriterios seleccionados y normalizar los datos de acuerdo con estos. Después se determinan los pesos de los criterios y subcriterios para determinar la importancia relativa de cada uno en el MCDM. Posteriormente, las alternativas aceptables se comparan de acuerdo a uno o varios métodos MCDM con los pesos de criterio. Por último, se ordenan las alternativas por orden de valoración; si todos los métodos arrojan el mismo resultado entonces el MCDM está concluido (Ustinovichius et al., 2007). Según Smith et al, (2000), es conveniente seleccionar varias técnicas de MCDM de diferentes tipos de análisis para comparar los resultados obtenidos por diversas metodologías.

En muchos casos de la vida ordinaria, los centros decisores no están interesados en ordenar las soluciones factibles con arreglo a un único criterio, sino que desean efectuar esta tarea con arreglo a diferentes criterios que reflejen sus particulares preferencias. Se podría decir, que una empresa desea establecer sus decisiones óptimas, no sólo al criterio de máximo beneficio, sino que otros criterios como volumen de ventas, crecimiento del mercado, factores de riesgo, período de recuperación de la inversión, protección del medio ambiente, entre otros. En una agricultura de subsistencia, un productor puede interesarse en la rotación de cultivos que maximicen el margen, que produce alimentos suficientes para el sostenimiento familiar, que maximiza el ocio, minimiza la erosión, optimiza el aprovechamiento del agua, etc. Al estructurar la política económica de un país se pueden considerar criterios tales como: tasa de inflación, nivel de empleo, crecimiento económico, déficit/superávit de la balanza de pagos, protección y conservación de los recursos naturales, entre otros (Fernández y Escribano, 2011).

Todos estos ejemplos mencionados, ponen de manifiesto que los centros decisores reales toman en cuenta varios objetivos y no aplican un único criterio como los métodos tradicionales lo han simplificado y cuyo comportamiento queda completamente alejado de la práctica cotidiana del mundo en que vivimos. En el caso particular de los sistemas de producción de lechería especializada en análisis, se pretende ser eficientes en el manejo de los criterios financieros para la producción y venta de leche, mantener los estándares óptimos respecto a criterios técnicos que se maneja dentro del sistema, lograr mejorar las condiciones de calidad de vida del productor de leche y mitigar los impactos ambientales del sistema, para ello entonces se propone analizar diferentes alternativas de producción que permitan determinar mediante la utilización de métodos de decisión multicriterio y de un indicador integrado, aquella alternativa más sostenible y que con la aplicación de esta herramienta de análisis, los pequeños y medianos productores puedan planificar y controlar las operaciones y poder así tomar decisiones confiables, respecto al nivel de competitividad y sostenibilidad de su sistema productivo.

### **1.3.1 Método Proceso Analítico Jerárquico**

El proceso analítico jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés Analytic Hierarchy Process), es una herramienta que permite orientar la toma de decisiones mediante asignación de valoraciones a un fenómeno de estudio de acuerdo con una regla de elección (Saaty,

1977); (Saaty, 2000). Estas valoraciones se realizan mediante comparaciones pareadas discretas y continuas entre dos alternativas, donde se pueden establecer medidas reales o crear una escala fundamental, que refleja la fuerza relativa de las preferencias y sentimientos (Saaty, 1977); (Saaty, 1990); (Saaty, 2000); (Chou, Anh-Duc, & Wang, 2013); (Srdjevic, Srdjevic, Blagojevic, & K., 2013). El AHP ayuda también a evitar la simplificación excesiva y a identificar y evaluar costes y beneficios (Saaty, 2012).

El método Analytic Hierarchy Process (AHP) (Saaty, 1990), comprende los siguientes pasos:

1. Asignación de un vector de pesos  $W_j$ . A los criterios de un cierto problema de decisión multicriterio.
2. Comparación de cada criterio  $C_i$  con cada criterio  $C_j$ , para obtener valores  $a_{ij}$  diferentes a la evaluación de las alternativas  $A_{ij}$ . Estos criterios se agrupan en una matriz cuadrada de orden  $n$ , la cual es denominada matriz de comparaciones binarias.
3. Estimación de coeficientes  $a_{ij}$  basada en la estructura de la tabla 1-1
4. Comparación del criterio  $a_{ij}$ , se evalúa a través de  $a_{ij}=1/a_{ij}$
5. Estimación de criterios  $C_{ij}$ ,  $i=j$  tendrán siempre un valor de 1, para conformar así la diagonal principal.

**Tabla 1-1:** Escala fundamental de valoración proceso analítico jerárquico.

Intensidad	Definición	Explicación
1	Importancia igual	Las dos actividades constituyen igualmente al objetivo
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra
5	Importancia esencial o fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra
7	Importancia muy fuerte	Una actividad es fuertemente favorecida y su dominancia es demostrada en la práctica
9	Importancia extrema	La evidencia en favor de una actividad sobre otra presenta el mayor orden posible de afirmación
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre los dos juicios adyacentes	Cuando el compromiso es necesario

Fuente: Saaty, 1990

6. Estimación del Coeficiente de Consistencia o índice de compatibilidad ( $CI$ ), a través de la formulación siguiente:

$$IC = (\lambda_{max} - n) / (n - 1), \tag{1.1}$$

Donde  $n$  es el número de criterios en la decisión

7. Evaluación del Índice de Aleatoriedad (*IA*) tabla 1-2, para calcular junto con el *CI* la tasa de consistencia *TC* según tamaño de la muestra (criterios, subcriterios y alternativas)

$$TC = IC / IA \quad (1.2)$$

**Tabla 1-2:** Índice de aleatoriedad según tamaño de la muestra *N*.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	...
IA	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	...

Fuente: Saaty, 1990

Por lo cual, si  $TC < 10\%$  es aceptable el proceso analítico jerárquico llevado a cabo para la determinación de los respectivos pesos  $W_j$ .

Con estos planteamientos anteriores, se puede decir que el método AHP, integra adecuadamente los pesos de los criterios  $C_{ij}$ , a través de jerarquías y de la ponderación lineal; lo que hace que sea considerado uno de los métodos más completos en el campo de la decisión multicriterio. El método AHP ha sido muy usado y tiene un grupo amplio de aplicaciones entre ellas se encuentran, la asignación de recursos humanos, la economía, la administración del transporte, la sostenibilidad en sistemas energéticos, de la agricultura, de la industria, se usa combinada con otros métodos, entre otras aplicaciones. Este método guarda cierta semejanza con los siguientes métodos: Técnica para el orden de preferencia por similitud a solución ideal (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution TOPSIS) y el método de optimización multidisciplinar y solución de compromiso (Vlsekriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje VIKOR) (Roy y Słowiński, 2013).

### 1.3.2 Técnica para el orden de preferencia por similitud a la solución ideal

El método TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), es una técnica para ordenar las preferencias mediante similitud a la solución ideal, es por tanto un método de ranking. Fue desarrollado por Hwang y Yoon en el año 1981. El método asume que cada atributo tiene un incremento monótonico cada vez mayor o de disminución; esto hace fácil localizar las soluciones ideales y anti-ideales. De esta manera, la orden de la

preferencia de alternativas se rinde con comparar las distancias euclidianas. En primer lugar, se formula una matriz de decisión de M alternativas y N criterios-subcriterios. Se realiza la matriz de decisión normalizada y la construcción de la matriz de decisión ponderada, seguido por las soluciones ideales y anti-ideales. Para los criterios de beneficio el decisor desea tener valor máximo entre las alternativas y para los criterios de costo, valores mínimos entre alternativas (Hwang & Yoon, 1981).

El método determina una solución con la distancia más corta a la solución positiva ideal y la distancia más larga a la solución negativa ideal, pero no considera la importancia relativa de dichas distancias (San Cristobal, 2012). El principio básico del TOPSIS es que la mejor alternativa debería tener la menor distancia a la solución positiva ideal (PIS, por sus siglas en inglés) y la mayor distancia a la solución negativa ideal (NIS, por sus siglas en inglés) (Wei, Wang, & Guo, 2011); (Yalcin, Bayrakdaroglu, & Kahraman, 2012).

El método TOPSIS evalúa la siguiente matriz de decisión (tabla 1-3) que se refiere a  $m$  alternativas  $A_i, i = 1, \dots, m$ , las cuales son evaluadas en función de  $n$  criterios  $C_j, j = 1, \dots, n$ ;

**Tabla 1-3:** Matriz de decisión.

	$\omega_1$	$\omega_2$	.....	$\omega_n$
	$C_1$	$C_2$	.....	$C_n$
$A_1$	$X_{11}$	$X_{12}$	.....	$X_{1n}$
$A_2$	$X_{21}$	$X_{22}$	.....	$X_{2n}$
.....	.....	.....	$X_{ij}$	.....
$A_m$	$X_{m1}$	$X_{m2}$	.....	$X_{mn}$

Fuente: Elaboración propia

Donde  $X_{ij}$  denota la valoración de la  $i$ -ésima alternativa en términos del  $j$ -ésimo criterio. Y donde  $W = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n]$  es el vector de pesos asociado con  $C_j$ . Los siguientes son los pasos para el procedimiento TOPSIS.

1. Cálculo de la matriz de decisión normalizada, como se muestra en la ecuación 1.3.

$$n_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n X_{ij}^2}} \quad ; j=1, \dots, n; \quad i=1, \dots, m \quad (1.3)$$

2. Cálculo de las distancias PIS ( $A^+$ ) y NIS ( $A^-$ ), ecuaciones 1.4 y 1.5

$$A^+ = \{u_1^+, u_2^+, \dots, u_j^+, \dots, u_n^+\} \quad ; j=1, \dots, n \quad (1.4)$$

$$= \{(\max_i u_{ij}, i \in I^+), (\min_i u_{ij}, i \in I^+)\}$$

$$A^- = \{u_1^-, u_2^-, \dots, u_j^-, \dots, u_n^-\} \quad ; j=1, \dots, n \quad (1.5)$$

$$= \{(\min_i u_{ij}, i \in I^-), (\max_i u_{ij}, i \in I^-)\}$$

Donde  $I^+$  está asociado con criterio beneficio y  $I^-$  asociado con criterio costo.

3. Cálculo de las medidas de distancia, utilizando la distancia euclidiana n-dimensional, como se observa en las ecuaciones 1.6 y 1.7

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (u_{ij} - u_j^+)^2} \quad (1.6)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (u_{ij} - u_j^-)^2} \quad (1.7)$$

Donde la  $d_i^+$  es la distancia ideal positiva, ya que es la distancia a la  $A^+$ , y la  $d_i^-$  es la distancia ideal negativa, ya que es la distancia a la  $A^-$

4. El cálculo del coeficiente de cercanía, se muestra en la ecuación 1.8

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad ; i=1, 2, \dots, m \quad (1.8)$$

5. Finalmente se determina el ranking de alternativas. Como  $CC_i$  está comprendido entre 0 y 1, si  $CC_i = 1$ , entonces  $A_i = A^+$ . Por el contrario se  $CC_i = 0$ , entonces  $A_i = A^-$ . Luego  $CC_i$  se ordena en forma descendente por lo que valores altos de  $CC_i$ , implican mejor ranking.

### 1.3.3 Método de optimización multidisciplinar y solución de compromiso

El método VIKOR (Vlsekriterijumsko KOmpromisno Rangiranje), fue desarrollado en 1998 por Serafim Opricovic como un método de análisis multicriterio para la optimización de sistemas discretos complejos con criterios conflictivos. Este método se enfoca en jerarquizar y seleccionar la mejor solución de compromiso a partir de un conjunto de alternativas en presencia de criterios en conflicto (Opricovic y Tzeng, 2007); (Sayadi, Heydari, & Shahanagh, 2009).

Una de las principales ventajas que ofrece VIKOR es la posibilidad de determinar una solución de compromiso, es decir, la más cercana a la ideal, que refleja la posición de la mayoría de los decisores involucrados (Opricovic, 1998). La solución de compromiso es la más cercana al ideal. El concepto de solución de compromiso se introdujo en el MCDM en 1973 (Yu, 1973); (Zeleny, 1973). Para cada una de las alternativas se obtienen dos parámetros: utilidad de la mayoría y rechazo individual. Estos dos parámetros se fusionan según consenso, obteniendo la mejor solución, llamada de compromiso. La mejor solución es aquella que proporciona máxima utilidad y mínimo rechazo (Jingzhu & Xiangyi, 2008).

Este método se ha empleado en diferentes campos con buenos resultados (Martin-Utrillas, Reyes-Medina, Curiel-Esparza & Canto-Perello, 2015b).

La aplicación del método VIKOR se inicia con la siguiente forma de métrica del método de Programación Lineal -Lp (Opricovic & Tzeng, 2004):

$$L_{pj} = \left\{ \sum_{i=1}^n [W_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i)]^p \right\}^{1/p} \quad (1.9)$$

Con:  $1 \leq p \leq \infty$ ;  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, \dots, J$

Se emplean dos métricas para medir las distancias a la solución ideal, que corresponden a los valores de  $p = 1$  y  $p = \infty$ , con lo que se obtienen dos listas,  $S_i$  y  $R_i$  respectivamente (Opricovic & Tzeng, 2004). La alternativa que presenta el máximo consenso es la que obtiene un mínimo valor de  $S_i$ , y la solución que presenta un menor rechazo por parte del oponente es la que obtiene un valor mínimo de  $R_i$ . El método permite la introducción de un parámetro  $\nu$  para controlar el equilibrio entre las dos métricas, según sea la estrategia que

quiera seguirse, con lo que se obtiene una tercera lista  $Q_i$  que es la que proporciona la solución de compromiso.

Para cada subcriterio se obtienen los valores de  $f_i^*$  y de  $f_i^-$ . Estos valores son los valores máximo y mínimo de las mejoras, y corresponden con la mejor y la peor respuesta para el subcriterio dado.

$$f_i^* = \max_j \{X_{ij}\} \quad (1.10)$$

$$f_i^- = \min_j \{X_{ij}\} \quad (1.11)$$

La solución óptima se obtiene mediante el empleo de la jerarquización por compromiso. El método mide la concordancia, con el parámetro  $S$ , que es la mayor utilidad para el grupo, y también mide el desacuerdo, con el parámetro  $R$ , desaprobación del oponente. Los valores de  $S_i$  y  $R_i$  vienen dados por las ecuaciones 1.12 y 1.13:

$$S_i = \sum_{j=0}^{n-1} w_j (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad (1.12)$$

$$R_i = \max_j [w_j (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)] \quad (1.13)$$

Donde  $w_j$  es la prioridad de cada subcriterio.

Finalmente se obtiene el valor  $Q_i$ , como se observa en la ecuación 1.14.

$$Q_i = v [(S_i - S^*) / (S^- - S^*) + (1+v) ((R_i - R^*) / (R^- - R^*))] \quad (1.14)$$

Dónde:

$$S^* = \min S_i, S^- = \max S_i, R^* = \min R_i, R^- = \max R_i$$

$v$ : es el peso del valor de utilidad del mayor grupo.

$S_j$ ,  $R_j$  y  $Q_j$  se calculan considerando el valor de consenso de  $v$  que es 0.5. Los parámetros  $S$ ,  $R$  y  $Q$ , se ordenan por su valor de manera ascendente. La alternativa más sostenible es aquella que presente un menor valor en  $Q$ , que es la solución de compromiso; la cual debe satisfacer dos condiciones:



- a) Ventaja aceptable.  $Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)}) \geq DQ$ ; donde  $DQ = 1/(j-1)$ ,  $j$  es el número de alternativas y  $A^{(2)}$  es la alternativa que ocupa la segunda posición en la lista ordenada por valor de  $Q$ .
- b) Estabilidad aceptable en la decisión. La alternativa  $A^{(1)}$  deberá ser también la mejor en las listas de  $S$  y/o  $R$ .

Si una de estas condiciones no se satisface, entonces se propone un conjunto de soluciones de compromiso, el cual consiste en:

- a) Alternativa  $A^{(1)}$  y  $A^{(2)}$  si sólo la condición b no es satisfecha, o
- b) Alternativas  $A(1), A(2), \dots, A(m)$  si la condición a) no se satisface.  $A(m)$  es determinada por la relación para máximo  $n$ .

## 1.4 Análisis de la sostenibilidad

Existen numerosos procedimientos para medir o analizar la sostenibilidad. El primario, que postula un trío de sostenibilidad ambiental, sostenibilidad económica y sostenibilidad social, es el modelo más aceptado como modelo para abordar la sostenibilidad (Hajian & Kashani, 2021). El principal objetivo de la sostenibilidad en los sistemas productivos es mantener un nivel de ingresos económicos, al igual que el cuidado del entorno social y la protección del medio ambiente. Sin embargo, en un ambiente con características tan especiales y complejas, como en el que se desarrollan los SPLE, las empresas precisan de herramientas que favorezcan tanto la toma de decisiones como la definición de sus estrategias (Ruiz, et al, 2018); (Barcellos de P., 2010). Por lo tanto, ante esta nueva realidad es necesario plantear la utilización de modelos que permitan redescubrir nuevas formas de planificar y controlar no solo las empresas sino sus objetivos, sus estrategias y sus políticas para hacer compatible la prosperidad de las empresas con una calidad de vida sostenible a nivel planetario. Para ello es necesario apoyarse en modelos flexibles que permitan el tratamiento híbrido de datos objetivos y estimaciones subjetivas, que permitan revisar previsiones de los comportamientos futuros de las empresas, instituciones y agentes sociales (Barcellos de P., 2010).

Para que el análisis de sostenibilidad sea operativo, es conveniente caracterizar el comportamiento de un número apropiado de indicadores relevantes, donde la prioridad

deberán ser los ingresos netos y los ingresos del predio en función del tiempo. Éstos deben ser adecuados a los objetivos y escala de análisis, integrar variables, ser sensibles a un amplio rango de condiciones y a los cambios en el tiempo, poderse medir de manera fácil y confiable, y ser sencillos de entender (Masera et al., 2000).

Se espera que un sistema de producción animal sea sostenible, si es capaz de reproducirse por un período de tiempo razonable y de cambiar de manera oportuna, cuando las condiciones lo exijan, para continuar funcionando a largo plazo. Para que esto ocurra, los recursos y los procesos ecológicos y sociales centrales para su funcionamiento deberían ser capaces de: (a) reproducirse y autorregularse; (b) coordinarse para ser mutuamente compatibles; (c) absorber el impacto de las perturbaciones adversas de manera oportuna; y (d) reorganizarse y adaptarse a los cambios estructurales internos y externos (Masera et al., 1999). Esta definición muy general nos ayuda a saber qué deberíamos evaluar al analizar la sostenibilidad del sistema. Sin embargo, se requiere una metodología para hacer operativo este análisis; esta metodología de análisis, síntesis y evaluación se convierte en una valiosa herramienta de planificación y control, ya que: (i) permite conocer las tendencias de cambio que prevalecen en los sistemas productivos y sus posibles consecuencias; y (ii) contribuye a definir escenarios deseables e identificar una o más intervenciones planificadas para el sistema que podrían modificar tendencias indeseables (Masera et al., 2000; Nahed et al., 2006; Nahed, 2008; Astier et al., 2008).

Los indicadores han sido un elemento central en los esfuerzos por llevar a la práctica el concepto de sostenibilidad; sin embargo, que indicadores utilizar y cómo aplicarlos a diversas situaciones no es un paso obvio. Según Astier et al., (2008), en general, los esfuerzos dirigidos a proporcionar estrategias para la evaluación de la sostenibilidad se pueden clasificar en tres grandes grupos:

“Un primer grupo lo aborda desde la generación de listas de indicadores de sostenibilidad enfocados principalmente en criterios ambientales, económicos y en menores medidas sociales e institucionales (Van der Linden, De Olde, Mostert, & de Boer, 2020). Un segundo grupo lo constituyen metodologías de evaluación basadas en la determinación de índices de sostenibilidad, donde se resume la información de los indicadores en un sólo valor numérico, un indicador integrado permite comparar diferentes fincas directamente, ya que la información se condensa y, por lo tanto, se puede comunicar de manera sucinta y

eficiente (Van der Linden, De Olde, Mostert, & de Boer, 2020). El uso de un indicador integrado permite considerar diferentes proporciones de manera complementaria, como la rentabilidad de activos y el rendimiento del trabajo, para reflejar diferentes estructuras agrícolas (Zorn, Esteves, Baur, & Lips, 2018).

El último grupo de métodos son los marcos de evaluación, son propuestas metodológicas flexibles que permiten guiar el proceso de análisis mediante diferentes etapas, parten de atributos generales que son aplicables en diferentes situaciones y sistemas de manejo, y que sirven de guía para derivar criterios e indicadores más específicos”. Los marcos de evaluación de la sostenibilidad constituyen un avance importante en los esfuerzos para operativizar dicho concepto. Se caracterizan según: el enfoque adoptado; el énfasis en las diferentes dimensiones de evaluación (social, ambiental y económica); el tipo de análisis; la escala utilizada; la forma en que se obtienen los indicadores; el grado de participación, y su aplicación en diferentes estudios de caso (Galván-Miyoshi, Masera, & López-Ridaura, 2008).

### **1.4.1 Análisis de sostenibilidad en sistemas agropecuarios**

En los sistemas agropecuarios la versión de sostenibilidad inició su desarrollo en la segunda mitad de la década de los 90 del siglo XX (Toro, 2012); posteriormente se presenta un proceso de cambio con los sistemas de ganadería intensiva o especializada, en los que prevalece la versión de sostenibilidad débil, cuya finalidad es la productividad, fácilmente valorable a través de los rendimientos y la viabilidad económica (Giorgis, 2009). Actualmente se potencia la versión fuerte de sostenibilidad, que pretende el equilibrio de los elementos sociales, económicos y ambientales, como en el caso de la ganadería extensiva (Nahed et al., 2006).

Convencionalmente las investigaciones en producción animal contemplan el uso de variables e indicadores limitados, sin una perspectiva y una organización de la evaluación en el contexto de la sostenibilidad. Los indicadores técnicos y económicos utilizados responden al modelo convencional aplicado en la agroindustria de desarrollo ganadero, y con excepción de la ganadería campesina; dicho modelo se ha orientado a lograr los máximos incrementos de producción con la mayor rentabilidad, sin importar la calidad de los productos y los efectos sobre los recursos naturales (Nahed, 2008). Por otro lado, los

indicadores deben ser de índole social, económico y ambiental, con el fin de mostrar un panorama integral (CEPAL-FAO-IICA, 2018); (Bolívar, 2011); (Astier et al, 2008).

Según De Olden, Sautier & Whitehead, (2018), la sostenibilidad para la producción de alimentos se ha convertido en el foco de muchos proyectos de investigación y ha ganado una posición destacada en la comercialización de productos alimenticios. Para obtener información sobre el desempeño de la sostenibilidad de las granjas y, en última instancia, apoyar a los agricultores en el desarrollo sostenible, se ha desarrollado una gran cantidad de herramientas de evaluación de la sostenibilidad. Esta expectativa ha hecho que las herramientas de evaluación de la sostenibilidad sean cada vez más populares para medir la sostenibilidad y que a medida que una evaluación de la sostenibilidad se vuelve más completa y cubre una gama más amplia de problemas o prácticas, aumenta la dificultad de implementar la evaluación de la sostenibilidad (Van der Linden, De Olde, Mostert, & de Boer, 2020).

Para el análisis de sostenibilidad de los sistemas agropecuarios es indispensable incorporar indicadores de regulación tecnológica, económica, social y ambiental de la producción (Aguilera et al., 2003; Nahed, 2008). Por otro lado, los sistemas de producción en lechería especializada (SPLE) que pretenden ser competitivos y sostenibles, están en permanente búsqueda del mejoramiento de la productividad, por medio del incremento de la eficiencia económica, de la eficiencia técnica y productiva, eficiencia ambiental y eficiencia social, que de manera integrada permiten evaluar la gestión para la toma de decisiones empresariales. El análisis y evaluación de los sistemas agropecuarios ha sido abordado por una gran cantidad de investigadores y bajo diferentes factores y criterios, muchas veces combinados o simplemente de manera aislada.

#### **1.4.2 Modelos de análisis de sostenibilidad en sistemas agropecuarios**

En el análisis de sostenibilidad en granjas lecheras, se han construido modelos de programación lineal para analizar los efectos de las políticas medioambientales y las medidas de gestión de la sostenibilidad económica y ecológica en granjas lecheras holandesas (Van Calker, Berentsen, De Boer, Giesen, & Huirne, 2004); similares estudios fueron realizados por Moriondo, Pacini, Trombi, Vazzana & Bindi, (2010) en Toscana, Italia con modelos de simulación, en respuesta al cambio climático en granjas lecheras en el

Norte de Florida. Cabrera, Breuer, Hildebrand & Letson, (2005), implementaron modelos de optimización como herramienta de gestión para el análisis de la sostenibilidad ecológica y económica. Vayssières, Vigne, Alary & Lecomte, (2011), diseñaron y desarrollaron un modelo integral de simulación con seis agricultores representativos de leche para evaluar ex-ante las diferencias en la sostenibilidad agrícola de diversos grados de integración cultivo-ganadería y apoyar las discusiones con los agricultores acerca de estas opciones.

Por otro lado, Van Calker et al., (2008), construyeron un modelo de programación lineal por objetivos ponderados, utilizado para maximizar la sostenibilidad de diferentes sistemas de producción láctea holandeses (convencionales y orgánicos) y analizar el impacto de (1) maximización de los aspectos de sostenibilidad individual (sostenibilidad económica, social y ecológica) y (2) maximización de sostenibilidad general, integrando las tres dimensiones antes mencionadas de la sostenibilidad, se concluye que el modelo creado es una herramienta adecuada para analizar la sostenibilidad de diferentes sistemas de producción lechera. Nousiainen, Tuori, Turtola & Huhtanen, (2011), desarrollaron un modelo de simulación dinámica para ser utilizado como herramienta para la toma de decisiones de gestión, con el fin de formular estrategias para mitigar los excedentes de fósforo (P) en suelos de granjas lecheras en Finlandia. El modelo de sostenibilidad integrado que se presenta permite la evaluación del impacto económico y ambiental de la ganadería lechera con especial atención a la contaminación por nitrógeno en la cuenca de captación en granjas modelo de Nueva Zelanda.

Con el fin de promover el uso de energías renovables y tecnologías de baja emisión de carbono, para el desarrollo sostenible de granjas lecheras en Argelia, Nacer, Hamidat & Nadjemi, (2016), proponen un modelo de simulación simple y completo para evaluar la sostenibilidad técnica y económica, así como el impacto de reemplazar los sistemas convencionales existentes por energías renovables, se concluye que con el modelo de optimización híbrida (HOMER), los sistemas de lechería podrían mejorar su sostenibilidad reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero hasta 80 toneladas. Mulindwa et al., (2011); desarrollaron y evaluaron un modelo de simulación estocástico en sistemas de producción de leche en África, con el fin de probar la sostenibilidad económica y ecológica de estos sistemas productivos considerados poco prácticos y costosos debido a la gran cantidad de factores que influyen en la producción, los resultados muestran que el crecimiento de las pasturas y las predicciones de producción de leche fueron aceptables,

lo que permite concluir que se pueden hacer predicciones económicas utilizando el modelo para probar diferentes opciones de manejo.

Asimismo, para dar cumplimiento a los requisitos mínimos de sostenibilidad económica y agroambiental en granjas lecheras extensivas, Franco et al., (2012), utilizaron el método MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad), basado en la evaluación de atributos básicos de sostenibilidad (adaptabilidad, autosuficiencia, equidad, estabilidad y productividad), construidos a partir de diferentes indicadores, los cuales se sintetizan mediante técnicas cualitativas y cuantitativas, o mixtas, en un único valor que mide la sostenibilidad del sistema (índice de sostenibilidad), para contribuir a mejorar los resultados económicos y ambientales de granjas extensivas tradicionales españolas. Sturaro et al., (2013), en estudios realizado en la provincia de Trento, Italia, analizaron la sostenibilidad económica, social y ambiental clasificando los sistemas de producción láctea y comparándolos en términos de productividad, destino de la leche, mantenimiento de la biodiversidad ganadera, gestión de la tierra y conservación del paisaje. Los datos utilizados en este estudio fueron recopilados de 610 granjas lecheras y que fueron encuestadas durante los años 2009–2010, en el estudio los autores concluyen sobre la importancia de estos análisis, para diseñar políticas efectivas de gestión para estos sistemas productivos.

Con el fin de obtener herramientas y conocimientos para mejorar la sostenibilidad agrícola en la región de Lombardía, Fumagalli et al., (2011), evaluaron el desempeño económico y ambiental real de los sistemas de cultivo en las explotaciones agrícolas y lecheras, la evaluación basada en indicadores se llevó a cabo con expertos de diferentes disciplinas y permitió describir el manejo del cultivo y resaltar sus problemas ambientales críticos. El objetivo del trabajo de Ripoll-Bosch et al., (2012), fue realizar una evaluación integral de la sostenibilidad en diferentes sistemas de cría de ovejas en el noreste de España, utilizando el marco MESMIS, definiendo indicadores dentro de los tres pilares de sostenibilidad económica, social y ambiental, determinaron que los indicadores son relevantes como valores de referencia, para comparar y dar mayor validez a la evaluación de la sostenibilidad a través, de escalas espaciales y temporales. Chand, Sirohi & Sirohi, (2015), desarrollaron un método de evaluación de la sostenibilidad a nivel de granja donde se abarca las dimensiones económicas, sociales y ecológicas, el método fue aplicado para

evaluar la sostenibilidad de la producción lechera en la parte noroeste de la India, el estudio calculó el índice de ganadería lechera sostenible.

Por otro lado, en América Latina se han propuesto indicadores de sostenibilidad integral. En Perú Mathios, (2019), evaluó la sostenibilidad económica, social y ambiental de la producción de leche de ganada vacuno, en el estudio se propone un indicador integral de sostenibilidad, se clasificaron los hatos de acuerdo con el nivel de producción y se concluye que el 5% de los hatos fue sustentable, el 45% medianamente sustentable y un 50 % de los hatos fue evaluado como no sustentable. Ruíz et al., (2018), en Antioquia, Colombia, caracterizaron predios de producción de leche bovina según el nivel de intensificación (NI) y su relación con variables ambientales y sociales que afectan el desarrollo sostenible de estos sistemas. Se encontró que las fincas con alto NI tuvieron mejores parámetros ambientales (manejo de excretas en tanques estercoleros, potreros fertilizados con materia orgánica), mientras que las fincas con bajo NI tuvieron prácticas de producción poco amigables con el medio ambiente. Respecto al componente social los predios clasificados con alto NI se caracterizaron por una buena percepción por parte de los productores y empleados sobre la estabilidad, salarios, prestaciones sociales, precios de la leche y el transporte de esta; y los productores cuentan con un relevo generacional; los predios de bajo NI vieron un futuro incierto de sus producciones, y los empleados percibieron regulares condiciones laborales.

En Uruguay Tommasino et al., (2012), evaluaron tres casos con familias de productores lecheros, se utilizó un sistema de análisis de sustentabilidad a nivel familiar-predial, teniendo en cuenta tres dimensiones de análisis: social, económica y ecológica y un total de quince indicadores, se concluye que la aplicación del sistema de indicadores utilizado en los tres casos estudiados parece constituir una metodología para el análisis de la sustentabilidad familiar lechera, ya que ha sido efectiva como forma de acercamiento de los sistemas familiares, además, fue útil como herramienta de planificación de la acción asociativa. Arias-Reverón et al., (2012), implementaron una matriz de indicadores para estimar y comparar el nivel de sostenibilidad de tres proyectos productivos dedicados a la producción láctea en instituciones de enseñanza superior, localizados en las zonas de San Carlos, Guácimo y Turrialba; Costa Rica. A través de este método se generó un índice agregado de sostenibilidad que evaluó el desarrollo integral de las ganaderías en cuatro

dimensiones: técnica, ecológica, económica y social; los valores extremos de este índice fueron 0 (mínimo) y 1 (óptimo).

Murillo et al., (2004a, 2004b), desarrollaron una matriz de objetivos e indicadores claves para el monitoreo de la sostenibilidad en sistemas de lechería especializada. Se realizó con información proveniente de diez ganaderías lecheras localizadas en Cartago, Poás y San Carlos; Costa Rica; la metodología desarrollada presenta dos fases: Caracterización del sistema y Desarrollo de una matriz de objetivos e indicadores, la caracterización comprende el diagnóstico estático, el diagrama de flujo y la definición de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (DOFA), la matriz de objetivos e indicadores claves se construyó para cada componente (animal, vegetal, infraestructura, humano y suelos) dentro de las dimensiones ecológica, económica, social y técnica. Se propuso implementar la metodología a nivel de ganaderías de lechería especializada, con el fin de determinar su operatividad y su posible aplicación en la comparación de la sostenibilidad de estos sistemas lecheros, con similares niveles de intensificación.

Por su parte, Ríos (2010), propuso construir mediante la evaluación de variables ambientales, económicas, sociales y técnicas, un indicador integrado para evaluar la sostenibilidad en sistemas de producción agropecuaria; el estudio de caso se llevó a cabo en ganaderías localizadas en el departamento de Antioquia, Colombia. Los resultados obtenidos permitieron calificar las fincas evaluadas en la escala: sostenible, altamente sostenible, medianamente sostenible, altamente insostenible e insostenible; el trabajo concluyó, que el modelo propuesto cumple con la función de ser una herramienta administrativa de control para la toma de decisiones. En Argentina por su parte, Nasca et al., (2006), evaluaron la sostenibilidad de dos modelos físicos ganaderos de la Llanura deprimida Salina de Tucumán, con relación a indicadores ambientales, económicos y sociales, se utilizó una metodología basada en la determinación del Índice de Sostenibilidad (IS), los IS se calcularon como la relación entre el valor del indicador y el valor del umbral; se estimó que el sistema de producción era sostenible, si el promedio de los índices de los indicadores era mayor o igual a uno, siendo uno el límite de sostenibilidad.

Estudios realizados en Colombia por Murgueitio (2003), sobre el impacto ambiental de la ganadería en Colombia y propuesta de alternativas de solución, muestran datos sobre



investigaciones realizadas por el Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), sobre los impactos ambientales de la ganadería en pastoreo intensivo para leche, principalmente sobre los recursos suelo y agua; se revisan una serie de alternativas para reducir los daños ocasionados e iniciar una nueva era de ganadería basada en principios de sostenibilidad que incluye una activa gestión en las microcuencas (revegetalización, protección de nacimientos, reducción de vertimientos contaminantes) y la transformación de los pastizales homogéneos en sistemas silvopastoriles.

De la revisión de los diferentes trabajos, referenciados en la implementación de modelos y metodologías para el análisis de sostenibilidad, es posible concluir:

- Las dimensiones en que se ha analizado y evaluado la sostenibilidad en los sistemas pecuarios van desde: lo económico, lo socioeconómico, lo ecológico, lo ambiental, lo social, lo cultural, lo técnico, algunos estudios consideran solo dos dimensiones, otros hacen mención a tres dimensiones y unos pocos consideran cuatro dimensiones en el análisis.
- Los modelos y metodologías propuestas para el análisis de sostenibilidad se resumen en: modelos de programación lineal, modelos de simulación simple, simulación estocástica, simulación dinámica, el marco de evaluación MESMIS, matriz de indicadores, matriz de objetivos e indicadores y los índices e indicadores integrales y agregados de sostenibilidad.
- De igual manera es posible analizar que son diferentes los objetivos a evaluar con la aplicación de estos modelos y metodologías al analizar la sostenibilidad: reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para mejorar la sostenibilidad, disponer de diferentes opciones de manejo, caracterizar según nivel de intensificación, evaluar el desarrollo integral de las ganaderías, herramienta administrativa de planificación y control para la toma de decisiones, determinar la operatividad de sistemas con similares niveles de intensificación, entre otros.

En general, independientemente las dimensiones consideradas, las metodologías propuestas y los objetivos planteados, la mayoría de los autores considera relevante la

participación de todos los actores involucrados en el problema de sostenibilidad, para tomar decisiones acorde con la posición y los intereses de cada uno. Finalmente se observa, que en estos estudios se concluye, que la herramienta utilizada para analizar la sostenibilidad cumple y es confiable para el fin que se persigue.

### **1.4.3 Métodos multicriterio y el análisis de sostenibilidad**

El análisis de sostenibilidad se ha abordado desde varios ángulos, aunque existe un indudable consenso en que puede abordarse definiendo un conjunto inicial de indicadores. Este concepto abstracto se ha evaluado definiendo adecuadamente una serie pluridisciplinaria de criterios e indicadores aceptables (Raison, Brown, & Flinn, 2001). Por otro lado, como la multidimensionalidad es intrínseca al concepto de sostenibilidad, muchos estudios han intentado caracterizar este término recurriendo a los MCDM. Algunos autores afirman que esta metodología es apropiada, ya sea por ser un conjunto de técnicas que han demostrado su utilidad en diversos problemas ambientales y de gestión (Munda, 2008), o por ser muy adecuados cuando tenemos que seleccionar la mejor alternativa, entre un conjunto discreto de ellos (De Felice & Petrillo, 2013). En resumen, se puede decir que la evaluación de la sostenibilidad es un problema de MCDM (Janeiro & Patel, 2015), ya que busca soluciones de compromiso entre criterios e indicadores en conflicto.

Los análisis de sostenibilidad requieren la gestión de una amplia variedad de tipos de información, parámetros e incertidumbres. El análisis de decisión de criterios múltiples (MCDM) se ha considerado como un conjunto adecuado de métodos para realizar evaluaciones de sostenibilidad como resultado de su flexibilidad y la posibilidad de facilitar el diálogo entre las partes interesadas, analistas y científicos (Cinelli, Coles, & Kirwan, 2014). Según la investigación de Diaz-Balteiro et al., (2017), son numerosas las técnicas MCDM empleadas para abordar los aspectos de sostenibilidad, como lo muestra la tabla 1-4, y para ser específicos, se encontraron hasta 15 técnicas diferentes utilizadas en cuatro o más artículos. Esta cifra permite concluir, como algunos autores han citado: no existe una metodología estándar para resolver problemas de sostenibilidad (Santos & Brandi, 2015).

**Tabla 1-4:** Resumen de los métodos de decisión multicriterio aplicados a estudios de sostenibilidad.

<b>Técnicas MCDM</b>	<b>Número de apariciones</b>
<b>Funciones de distancia</b>	<b>55</b>
Programación de compromiso	10
Punto de referencia	4
Programación de objetivos	11
TOPSIS	20
VIKOR	5
Otros métodos	5
<b>Métodos discretos</b>	<b>294</b>
<b>Outranking</b>	<b>33</b>
▪ ELECTRE	13
▪ Prometeo	9
▪ NAIADE	6
▪ Otros métodos	5
<b>Jerárquica</b>	<b>111</b>
▪ AHP	93
▪ ANP	13
▪ Otros métodos	5
<b>Ranking y métodos clasificación</b>	<b>13</b>
▪ DEA	7
▪ Juegos en bruto y MCDM	4
▪ Otros métodos	2
<b>Promedios de optimización</b>	<b>137</b>
▪ MAUT / MAVT	18
▪ Media Aritmética ponderada	89
▪ Agregación geométrica	4
▪ ASPID	8
▪ Otros métodos	18

Fuente: (Diaz-Balteiro et al., 2017)

La orientación del MCDM en el campo de la sostenibilidad es de naturaleza transversal, ya que se aplica a varios campos disciplinarios, así como a escalas de trabajo muy diferentes. Es así como en Diaz-Balteiro et al., (2017), se recopilaron las principales actividades económicas más representativas asociadas con estos estudios. Se destaca ocupando la primera posición (25%) agricultura, silvicultura y pesca con el mayor número de estudios, dentro de un total de 231.

El análisis de la sostenibilidad se considera cada vez más como un problema típico de toma de decisiones, lo que lleva al desarrollo, por parte de algunos investigadores, de métodos de ayuda para la toma de decisiones en este campo. La mayoría de estos enfoques se basan en métodos de ayuda (o toma de decisiones) de criterios múltiples (MCDM), y algunos han resultado en prototipos de soluciones sostenibles en el campo (Loyce, Rellier, & Meynard, 2002a); (Loyce, Rellier, & Meynard, 2002b); (Dogliotti, Van

Ittersum, & Rossing. W.A.H., 2005). Sin embargo, en la práctica, tales análisis se enfrentan a dos problemas principales. En primer lugar, el número de métodos y herramientas MCDM disponibles aumenta continuamente y los estudios destinados a evaluar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas rara vez justifican claramente la elección de un método MCDM sobre otro. Solo unos pocos estudios han presentado una evaluación comparativa, o al menos exploratoria, de los principales enfoques MCDM disponibles, en términos de la relevancia para los propósitos del análisis. Por el contrario, muchos autores han concluido que, en los problemas típicos de la toma de decisiones, rara vez hay un método ideal y, por lo tanto, se debe aplicar un grupo de métodos MCDM (Roy & Słowiński, 2013); (Macharis et al., 2004); (Wang y Triantaphyllou, 2006).

En segundo lugar, la demanda está aumentando entre los grupos de agricultores y los formuladores de políticas para un análisis de sostenibilidad más innovador, destacando la necesidad de (i) enfoques de evaluación ex ante más rápidos para identificar rápidamente sistemas alternativos sin evaluar los sistemas iniciales completos en el campo (European Commission, 2005); (Van Ittersum et al., 2008), y (ii) la expansión del análisis de la sostenibilidad a escalas raramente estudiadas en este momento, como la escala del sistema de cultivo. De hecho, la mayoría de los estudios publicados se han llevado a cabo a escala de parcela o en una escala aún mayor: granja, paisaje, estado o nación (Bontkes & Van Keulen, 2003); (Meyer-Aurich, 2005).

Numerosas investigaciones para analizar la sostenibilidad de sistemas de producción agropecuaria, se han llevado a cabo, utilizando diferentes criterios de análisis, por mencionar algunas: en Eslovenia, Kocjančič, Debeljak, Žgajnar & Juvančič, (2018), proponen un modelo de optimización multicriterio, utilizando la programación por objetivos ponderados para medir la sostenibilidad socioeconómica y biofísica en el sector lechero, el resultado de la aplicación del modelo permitió concluir que se puede conducir hacia una estructura diversa y equilibrada y a un desempeño económico y biofísico más favorable del sector. La evaluación de la sostenibilidad ambiental de las infraestructuras agrarias implica el uso de múltiples criterios de evaluación y el análisis de información geográfica, un modelo desarrollado denominado ELECTRE TRI en ArcGIS, se aplica en un estudio de caso que analiza la sostenibilidad ambiental de las granjas lecheras en la Región noroeste de Portugal, el modelo aplicado permitió encontrar diferentes niveles de sostenibilidad ambiental (Silva, Alçada-Almeida, & Dias, 2014). El estudio realizado por Castellini et al.,

(2012), en diferentes sistemas de producción avícola, tuvo como objetivo analizar la sostenibilidad bajo un enfoque integrado para abordar las necesidades alimentarias humanas, la preservación ambiental, la sostenibilidad económica y la calidad de vida. Se comparó la sostenibilidad de los tres sistemas de producción avícola siguientes: convencional, orgánico y completamente orgánico, se evaluó un modelo bioeconómico que combina el registro de datos de la granja con un análisis de decisiones multicriterio (MCDM). Para realizar una evaluación general de la sostenibilidad, se consideraron las cuatro dimensiones siguientes: económica, social, ambiental y de calidad. La mayoría de los datos se recolectaron directamente en las fincas y los indicadores ambientales se estimaron con el análisis del ciclo de vida (ACV), las huellas ecológicas y el análisis emergente; para desarrollar el MCDM, se seleccionaron seis subcriterios para cada dimensión. Los sistemas avícolas analizados mostraron resultados diferentes basados en la consideración de las partes interesadas (científicos, consumidores y productores).

Por otro lado, el índice de huella agroambiental (IHA) se ha desarrollado como una metodología genérica para evaluar los cambios en los impactos medioambientales globales de sistemas ganaderos y para ayudar en la evaluación de los sistemas agroambientales europeos. La metodología se basa en el análisis multicriterio (MCDM) e involucra la participación de las partes interesadas para proporcionar una evaluación personalizada, basada en indicadores ambientales ponderados. La metodología se sometió a una evaluación de sostenibilidad en una serie de estudios de casos en toda la Unión Europea. El enfoque multicriterio, demostró ser apropiado para la evaluación ambiental de sistemas agroambientales complejos y puede complementar cualquier evaluación realizada bajo el Marco Común de Monitoreo y Evaluación (Mauchline et al., 2012).

La intensificación de las actividades ganaderas en las últimas décadas ha dado lugar a una creciente preocupación social por los impactos ambientales que generan y ha llevado a tomar decisiones apropiadas sobre manejo del estiércol, Solomie et al., (2014), desarrollaron una herramienta basada en un enfoque de toma de decisiones multicriterio (MCDM) para abordar los problemas de manejo de estiércol en Países Bajos. En este trabajo se demostró como la aplicación de la programación de compromiso y la programación de objetivos, evalúan las ventajas y desventajas clave entre los beneficios socioeconómicos y la sostenibilidad medioambiental de los sistemas de gestión del

estiercol, teniendo en cuenta los puntos de vista contradictorios de los decisores sobre los diferentes criterios; la metodología propuesta es una herramienta útil para ayudar a los tomadores de decisiones y los responsables en el diseño de formulación de políticas que mejoren la introducción de sistemas sostenibles económica, social y ambientalmente.

Van Calker et al., (2006), en su investigación, utilizaron la teoría de la utilidad multiatributo (MAUT), para desarrollar una función de sostenibilidad general para los sistemas holandeses de producción lechera. Este enfoque consta de cuatro pasos: (1) determinación de funciones de utilidad de atributos, (2) evaluación de ponderaciones de atributos para determinar funciones de utilidad por aspecto, (3) evaluación de ponderaciones de cada aspecto para determinar la función de sostenibilidad global por grupo de partes interesadas y (4) determinación de la función de sostenibilidad general para la sociedad mediante la agregación de las preferencias de las partes interesadas y los expertos que utilizan un enfoque de programación de objetivos; la clasificación de sostenibilidad para los sistemas de producción lechera parecen ser relativamente insensibles a los cambios en el peso de atributos y aspectos. Con base en estos resultados, se concluye que la función de sostenibilidad desarrollada basada en las percepciones de los interesados y expertos puede utilizarse con razonable confianza para determinar la sostenibilidad de los diferentes sistemas de producción lechera.

Las herramientas de evaluación integradas se utilizan con mayor frecuencia para resolver nuevos desafíos ambientales, sociales y económicos relacionados con la sostenibilidad de la agricultura (Diaz-Balteiro et al., 2018). Esto es particularmente relevante en áreas ecológicamente vulnerables, donde las opciones de mitigación incluyen una redefinición completa de los sistemas agrícolas; la producción de alimentos orgánicos cada día cobra más fuerza a escala mundial, allí la toma de decisiones es multifacética y compleja tanto para productores como para consumidores y tomadores de decisiones políticas, Christensen et al., (2012), hacen una recopilación de diferentes métodos multicriterio con el fin de ayudar a estos tomadores de decisiones a implementar el método apropiado para la gestión de estos sistemas productivos orgánicos. La agricultura moderna debe afrontar nuevos retos como la producción de alimentos saludables, la adaptación al cambio climático, la protección de los recursos naturales, la conservación del paisaje, así como, financieramente rentables, socialmente incluyentes, entre otros, estos desafíos requieren

cambios en los sistemas agrícolas actuales y por lo tanto se deben diseñar sistemas agrícolas respetuosos con el medio ambiente y evaluar su sostenibilidad.

Como conclusión al respecto de esta sesión, es importante señalar los avances en el estudio y análisis de la sostenibilidad explorando diferentes métodos de análisis de decisiones multicriterio (MCDM) que se han orientado en diversos campos disciplinarios, como problemas en sistemas energéticos, impactos medioambientales, las ciencias sociales, sistemas agrícolas, forestales y pecuarios, sistemas industriales. Sin embargo, no se ha reportado estudio alguno, donde se analice la sostenibilidad en ganadería de leche combinando y comparando los métodos de decisión multicriterio AHP, TOPSIS Y VIKOR. Entre los MCDM que más se han aplicado para resolver problemas de sostenibilidad se pueden mencionar: el proceso analítico jerárquico AHP, teoría de la utilidad multiatributo (Multi Attribute Utility Theory MAUT), ELECTRE del inglés Elimination and Choice Translating Algorithm, Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE), programación de compromiso, programación de objetivos, TOPSIS, VIKOR, media aritmética ponderada, entre otros. Varios de estos métodos han sido combinados con lógica difusa y con sistemas de información geográfica SIG.

## **1.5 Consideraciones para selección de métodos de decisión multicriterio**

El importante desarrollo de los métodos multicriterio desde los años 70 del pasado siglo, ha dado lugar a una gran cantidad de métodos y herramientas de aplicación. Esto genera la necesidad de comparación de métodos, lo que podría facilitar la elección del más o los más adecuados para el problema que se esté considerando (Roy y Słowiński, 2013; Sadok et al., 2007). Sin embargo, son numerosas las inquietudes y preguntas a las cuales se enfrentan los centros decisores al momento de analizar problemas que se quieran resolver con la aplicación de estos métodos de decisión, las cuales es posible resumirlas así: ¿cuál método aplicar?, ¿deben combinarse varios métodos?, ¿qué métodos combinar?, ¿si se quiere comparar varios métodos, ¿cuáles serán los más apropiados?, ¿cuántos métodos comparar? Son preguntas que según estos autores hasta el momento no han sido resueltas y que quizás nunca se lleguen a definir.

La mayor dificultad que se presenta cuando se comparan métodos de decisión multicriterio y se quiere elegir el mejor es que según Triantaphyllou, (2000), se llega a una gran incógnita, ¿qué método de toma de decisiones se debe utilizar para elegir el mejor método de toma de decisiones? Al respecto Roy y Słowiński, (2013), han formulado algunas preguntas que al analizarlas pueden guiar a los centros decisores a elegir un MCDM que sea posible adaptarlo al contexto del problema donde se debe tomar la decisión. Por supuesto, cuando el tomador de decisiones se enfrenta a la etapa donde debe elegir el método multicriterio más adecuado para utilizar en el proceso de decisión, el objetivo del proceso de decisión debe estar claro, así como los criterios, subcriterios y alternativas a evaluar. De acuerdo con estos autores, es conveniente que el tomador de decisiones al elegir un método de ayuda a la decisión multicriterio, teniendo en cuenta el contexto del problema de decisión, debe reflexionar primero sobre la mejor forma de responder la pregunta esencial: ¿qué tipo (s) de resultados se espera que traiga el método?, es muy probable que, en muchos casos, la respuesta a esta pregunta conduzca en esta etapa a una breve lista de más de un método.

Para dar respuesta a la pregunta anterior, se proponen varios tipos de resultados que se esperarían conseguir y que están asociados con varios métodos a utilizar (Roy y Słowiński, 2013). En el caso del resultado tipo uno, el cual consiste en asignar un valor numérico a cada acción potencial, es según el análisis el que más se podría adaptar a este estudio, los métodos de decisión multicriterio que podrían estar asociados con este tipo de resultados, entre otros, son: funciones de valor multiatributo (MAVT por sus siglas del inglés Multi-Attribute Theory), teoría de la utilidad multiatributo (MAUT del inglés Multi Attribute Utility Theory), método aditivo de utilidades (UTA siglas en inglés UTilites Additives), MACBETH por sus siglas en inglés Measuring Attractiveness by a Category Based Evaluation Technique), proceso analítico jerárquico (AHP del inglés Analytical Hierarchy Process), técnica simple de calificación de atributos múltiples (SMART, del inglés Simple Multiattribute Rating Technique), técnica para el orden de preferencia por similitud a solución Ideal (TOPSIS del inglés Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution).

De acuerdo con la investigación de Diaz-Balteiro et al., (2017), afirma que en los estudios relacionados con análisis de sostenibilidad con MCDM, los más utilizados son los métodos discretos, entre los que más se destacan por su mayor uso es el método AHP, así mismo,



---

los métodos de funciones de distancia como el método TOPSIS y en menor proporción el método VIKOR. Por su parte, el método AHP se ha utilizado ampliamente como una herramienta y método útil para las ponderaciones de indicadores y criterios de sostenibilidad y presenta características de una estructura jerárquica, que está alineada con las estructuras de la mayoría de los marcos de sostenibilidad y hace que el proceso sea fácil de comprender para las partes interesadas, este método es simple y flexible, lo que le permite combinarse con otras técnicas, a diferencia de otros métodos participativos, AHP puede usarse con datos tanto cualitativos como cuantitativos (Gan et al., 2017).



## **2.Contexto**

### **2.1 Los sistemas bovinos de leche en Colombia**

En este capítulo se analizaron varios documentos (artículos, libros, congresos, seminarios, estudios estadísticos sobre ganadería publicados por FEDEGAN, entre otros), de diferentes autores que han realizado investigaciones con el fin de describir y caracterizar los sistemas de producción bovinos de leche en Colombia (SPBL). Algunos de los principales referentes de estos estudios (Olarte, 2014); (Márquez et al., 2015); (Arias, Balcázar, & Hurtado, 1996); (Aldana, 1996); (CENTRO DE ESTUDIOS GANADEROS Y AGRICOLAS (CEGA), 1989); (FEDEGAN, 2020); (FEDEGAN, 2015). Primero se presenta una descripción general de las características más importantes de estos sistemas productivos y cuáles son los principales SPBL que imperan en Colombia. Se revisan las características del sistema de producción pastoreo intensivo suplementado en lechería especializada, el más importante en Antioquia y finalmente se presenta una revisión del concepto de competitividad en estos sistemas productivos.

#### **2.1.1 Caracterización de los sistemas de producción bovinos de leche**

La ganadería en Colombia ha estado representada en más de un 80% por pequeños productores. Para muchos es un negocio de largo plazo caracterizado por un menor riesgo que la agricultura y otras actividades rurales. Los sistemas de lechería que ocupan la mayor parte de la frontera agropecuaria son desarrollados por una cantidad de actores sociales y tienden a expandirse en todos los biomas de las cinco regiones biogeográficas del país (Carulla & Ortega, 2016); (Barrios & Olivera, 2013); (Márquez et al., 2015).

La ganadería bovina se caracteriza por la diversidad y heterogeneidad en la organización técnica y económica de la producción. Ninguna finca está organizada en forma idéntica a otra; cada una tiene elementos propios y únicos que determinan propiedades y características irrepetibles en razón a la naturaleza biológica y cultural de muchos de sus componentes. Algunas fincas comparten rasgos y propiedades semejantes, lo cual permite clasificarlas para diversos propósitos (FEDEGAN, 2021); (Arias et al., 1996). Clasificar estos sistemas de producción consiste en agrupar fincas que comparten ambientes similares y analizar las propiedades emergentes, es decir, elementos tales como los productos básicos para la alimentación del ganado, el manejo de pasturas, el manejo de los animales, la infraestructura y la maquinaria. Con base en estos criterios se definen varios sistemas de producción bovinos de leche que tienen en cuenta las condiciones imperantes en Colombia: sistema extractivo, sistema de pastoreo extensivo tradicional, sistema de pastoreo extensivo mejorado, sistema de pastoreo intensivo con suplementación y sistema de producción en confinamiento (Olarte, 2014); (Arias et al., 1996).

Según Arias et al., (1996) cada uno de estos sistemas productivos, permite desarrollar una o varias actividades, las cuales a su vez generan uno o varios productos que lo diferencian. Cuando se consideran las actividades que se desarrollan en cada sistema y el tipo de producto que se puede obtener, se llega a los siguientes resultados (CEGA, 1989): extractivo; pastoreo extensivo tradicional de: cría, cría con levante, cría con doble utilización de la vaca, ciclo completo; pastoreo extensivo mejorado de: cría, doble propósito, ciclo completo, leche especializada, ceba; pastoreo intensivo suplementado de: doble propósito, leche especializada, ceba; producción de leche en confinamiento y producción de ceba en confinamiento (Carulla & Ortega, 2016).

Para este estudio se analizarán las principales características del sistema de producción bovina pastoreo intensivo suplementado en lechería especializada.

### **2.1.2 Sistema de pastoreo intensivo suplementado en lechería especializada**

Los sistemas de pastoreo intensivo suplementado en lechería especializada se ubican principalmente en la zona trópico de altura, se desarrollan en áreas cercanas a centros urbanos más importantes del país, como Bogotá, Medellín, Cali, Bucaramanga y

Barranquilla (Carulla & Ortega, 2016); (Aldana, 1996). Los suelos pueden no ser aptos para la ganadería, pero con manejo adecuado, las deficiencias son superadas sin dificultad. Los servicios públicos son completos, el transporte es eficiente y llegan hasta las fincas, mejorando la recolección de la leche y demás productos necesarios para una producción adecuada (Arias et al., 1996).

Tienen disponibilidad de maquinaria y equipos como: tractores, equipos de ordeño, henificadora, sistema de riego, tanque de enfriamiento, etc. Las fincas que se encuentran con este sistema de producción tienen la ventaja de obtener residuos o subproductos que resultan de las cosechas cercanas, para ser utilizados como suplementación animal (Márquez et al., 2015); (Olarte, 2014). El productor debe aumentar significativamente la producción de leche, por eso, se debe mejorar y optimizar la nutrición, así como disponer de animales con alto potencial genético, para lograr altos niveles de eficiencia que permitan la transformación de los alimentos que son suministrados.

Las características de este sistema para incrementar la producción de leche, es la introducción de la suplementación alimenticia, además de un manejo adecuado de los pastos que incluye uso de riego, fertilización intensiva, control de malezas en potreros. Se utilizan animales de alto mestizaje y en menor proporción puros, el ordeño se hace sin ternero, descartando los machos a los tres o cinco días de nacidos y criando las hembras mediante lacto reemplazadores o leche ordeñada (Márquez et al., 2015; Olarte, 2014; Arias et al., 1996; Aldana, 1996).

En Colombia, inicialmente el desarrollo de la producción lechera estuvo estrechamente relacionado con su ubicación en regiones de clima frío. Esta ganadería de leche se caracteriza por su cercanía a los centros de consumo como es Oriente Antioqueño, el Altiplano Cundiboyacense y Nariño. La producción de leche en Colombia, ha venido creciendo pasando de 7.094 millones de litros en 2019, a 7.821 millones de litros aproximadamente en 2021, debido principalmente, al factor clima, a las innovaciones en los sistemas de alimentación, mejoramiento de pasturas, manejo del ganado y tecnología en salas de ordeño, mejoramiento genético de los hatos, principalmente por compras y renovación de especies altamente productivas y a la disponibilidad de alimento para las hembras en ordeño (FEDEGAN, 2021).

La Lechería Especializada en Colombia se encuentra distribuida en cuatro regiones así (FEDEGAN, 2015): La región Atlántica tiene una participación del 38%, allí se encuentran las cuencas del trópico bajo, con lecherías de doble propósito, esta cuenca está conformada por los departamentos de Cesar, Magdalena, Córdoba, Atlántico, Guajira, Sucre y Bolívar. En esta región hay tres cuencas principales: la cuenca lechera de Córdoba y Sucre, la cuenca lechera del Cesar, la cuenca lechera del Atlántico y norte del Magdalena.

En segundo lugar, con una participación del 30%, se encuentra la Zona Occidental, pertenece a las cuencas del trópico alto, con lecherías especializadas. Esta zona la conforman los departamentos de Antioquia, Caquetá, Tolima, Huila, Quindío, Caldas y Risaralda. Las 2 cuencas lácteas de Antioquia encabezan la producción en cuanto a lechería especializada. La cuenca lechera del altiplano norte de Antioquia comprende los municipios de Don Matías, San Pedro de los Milagros, Santa Rosa de Osos, Belmira, Bello, Entreríos, San José de la Montaña, Oriente Antioqueño y Yarumal (Olarte, 2014); (Barrios & Olivera, 2013). En general la tenencia de tierra corresponde a minifundio, con predominio de pequeñas y medianas unidades productivas, que presentan un promedio de 33 hectáreas por finca. Las razas lecheras que predominan son Holstein y Jersey, producción semi-intensiva, con uso relativamente alto de concentrados para animales y fertilizantes para los suelos. La productividad media por animal en la zona es superior a los 14 litros/día.

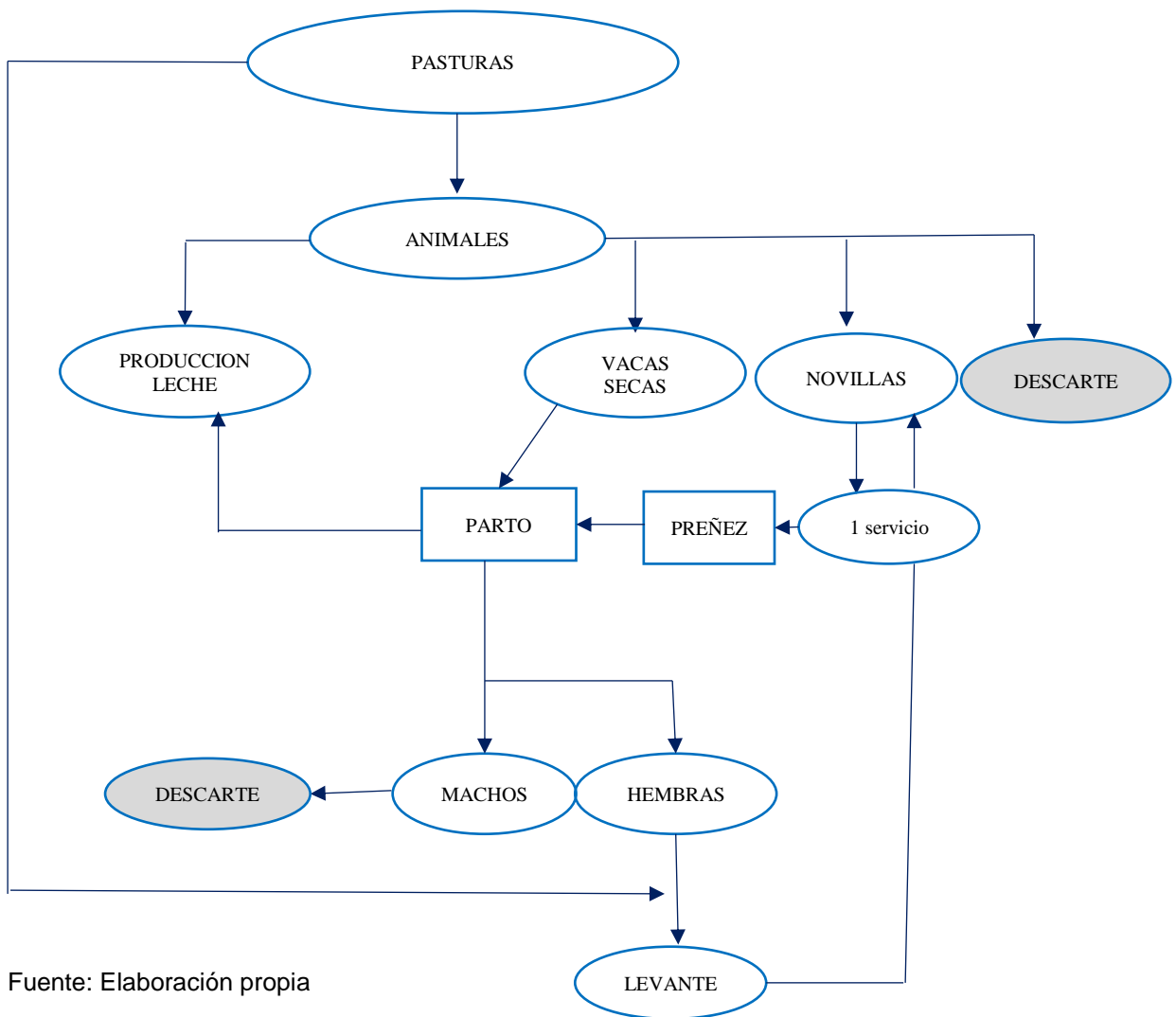
Posteriormente y en tercer lugar con una participación del 20%, aparece la región Central, corresponden las cuencas del trópico alto, con leche especializada, conformada por los departamentos de Cundinamarca (Sabana de Bogotá), Boyacá, Meta y Santanderes, en este departamento están dos cuencas como las más productivas de las 4 que existen. La cuenca lechera del Valle de Ubaté y Chiquinquirá, en los municipios de Ubaté, Chiquinquirá y Simijaca; con ocho centros de acopio que recogen entre 15.000 y 100.000 litros diarios por empresa. En esta zona los precios de la tierra son altos, por la cercanía a la capital y por la calidad de los suelos. El tamaño promedio por finca es de 45 hectáreas. Las razas predominantes son Holstein mestizo, Holstein colombiano y Holstein puro. Se usan predominantemente pastos mejorados (FEDEGAN, 2015).

En el último lugar y con una participación del 6%, se encuentra la Zona Pacífica, son llamadas cuencas del trópico alto, con leche especializada, conformada por los

departamentos de Valle del Cauca, Nariño, Cauca, y Alto Putumayo. En la zona hay tres tipos de productores: el minifundio (indígenas y campesinos), que representa más del 80% del total, y con un tamaño de finca promedio de 5 has; los medianos, con producciones por finca entre 300 y 500 litros/día; y un pequeño número de productores grandes, con producciones de más de 1000 litros/día (FEDEGAN, 2015).

La Figura 2-1 ilustra la composición en que se desarrollan estos complejos sistemas de producción pastoreo intensivo suplementado en lechería especializada.

**Figura 2-1:** Composición del sistema de producción pastoreo intensivo suplementado



### **2.1.3 Sistemas de producción bovinos de leche y la competitividad**

La competitividad se define como la mayor o menor capacidad para competir, que puedan tener las personas, las organizaciones o las naciones, sobre la base de que la competencia siempre ha existido y es connatural al ser humano. Pero el acelerado proceso de globalización ha convertido a la competitividad en categoría fundamental para la subsistencia social y económica. Las actividades económicas deben ser competitivas para no ser desplazadas por otras formas quizás más eficientes de generar riqueza. Los países deben ser competitivos, y ésta se ha convertido en responsabilidad sin par de los gobernantes para garantizar el bienestar de sus gobernados (Lengua, Ortiz, Valverde, García, & Cantillo, 2012); (FEDEGAN, 2015).

La competitividad, sin embargo, y principalmente la de una actividad económica rural como la ganadería, está en función de factores exógenos y endógenos. Sobre los primeros se pueden ejercer acciones indirectas, sin que el factor como tal dependa de nuestra acción (variables macroeconómicas, política nacional e internacional, etc.) Los segundos, por el contrario, son aquellos sobre los que podemos ejercer influencia directa y, por lo tanto, incluyen estrategias y acciones relacionadas con los fundamentos y con los pilares estratégicos. En suma, cualquier factor relacionado con la actividad ganadera, ya sea económico, político, ambiental o social, nos hace más o menos competitivos. De ahí su condición de concepto integrador (FEDEGAN, 2021); (FEDEGAN, 2015) (SENA; COLCIENCIAS; DNP, 2010).

Según FEDEGAN (2021), a nivel mundial, se producen aproximadamente 650 millones de toneladas de leche/año, en donde Colombia ocupa el puesto 24, lo que significa una participación del 1% de este total. Sin embargo, es de anotar que actualmente la producción de leche en Colombia está sujeta a grandes presiones, por diversos factores, que seguramente reordenarán al sector y en unos años no será el mismo que hemos conocido, los dos más significativos tienen que ver con el cambio climático y los mercados globales. Es tal el impacto que ha generado el cambio climático en la ganadería colombiana que su inventario bovino se ha reducido desde el 2010, asimismo, también se generan desplazamientos de animales, y daños en su productividad y reproductividad.



Respecto a los mercados globales, es importante destacar que solo entre la Unión Europea, India y Estados Unidos se concentra el 61% de la producción y que muchos de los países han hecho un esfuerzo tecnológico, productivo y de mercados para consolidar al sector lechero como uno de los ejes estratégicos de su economía. Países como Estados Unidos, Alemania, Francia y Nueva Zelanda, son referentes en la producción mundial, así como en comercio internacional para entender el buen manejo de las lecherías (FEDEGAN, 2021). Es común encontrar en estos países: ganaderías óptimamente productivas y eficientes gracias a su tecnología, buena alimentación, buen manejo, rigurosidad en el cuidado de la salud animal y un mejoramiento genético permanente; exigencia individual a cada vaca; especializan la producción; cuidan su mercado interno como fuente primera de crecimiento de su negocio; no hay informalidad; integralidad de eslabones de la cadena; sistema de cooperativismo e industrialización; autorregulación del mercado; permanentes y sostenidas campañas de marketing; transformación de ventajas comparativas en competitivas, entre otras.

Por su parte Colombia, viene desaprovechando sistemáticamente las oportunidades que proporciona la coyuntura mundial. Hoy en día, muchos países están consumiendo mayores cantidades de proteína de origen animal como mecanismo para combatir la desnutrición. Además, los países de ingresos medianos registran el mayor crecimiento en sus niveles de población y dos grandes países, la India y China, presentan mejoras importantes en el nivel de ingreso, lo que implica mayores consumos de leche (FEDEGAN, 2021). Es importante señalar que el balance exportador para el sector lácteo no ha sido muy alentador en los últimos años en respuesta a la falta de competitividad y la ausencia de visión exportadora de la industria. El año 2019 cerró con un total de 2.361 toneladas de productos lácteos, equivalentes a un 54% menos a lo exportado en el año 2018, en donde se exportaron en total 5.606 toneladas de estos productos. (FEDEGAN, 2020).

Los productores de leche han enfocado sus explotaciones hacia la producción de altos volúmenes de leche sin importar la calidad de esta, hoy cuando el mercado nacional e internacional exige mayor competitividad, la calidad de la leche basada en su composición proteica y grasa toma gran fuerza y obliga a los industriales a captar leche con mayores contenidos de sólidos (Barrios, Restrepo & Cerón, 2016). Esta situación hace necesario que los ganaderos desarrollen sus explotaciones en busca de cumplir con los objetivos de calidad planteados por el mercado nacional y mundial. El ganadero de hoy debe buscar en

sus hatos animales que produzca grandes volúmenes de leche, con altos niveles de proteína y grasa, para mejorar su hato lechero; este animal debe ser además eficaz en la transformación de forrajes y alimentos concentrados, longevos y eficientes desde el punto de vista reproductivo (SENA; COLCIENCIAS; DNP, 2010); (Estrada & Holmann, 2008).

Con el propósito de generar mayores oportunidades para el sector lácteo y además, que pueda afrontar los retos derivados de la firma de tratados de libre comercio con grandes exportadores de productos lácteos como Mercosur, Estados Unidos y la Unión Europea, y la importancia de aprovechar de manera efectiva los instrumentos de política del documento CONPES 3675 de 2010, por medio del cual se busca mejorar la competitividad del sector lácteo colombiano, es necesario implementar diversos instrumentos de política pública que propendan por la competitividad del sector, entre los que se pueden destacar: - instrumentos para mitigar los efectos del cambio climático, - sistemas de riego, drenajes y reservorios sostenibles y sustentables, - educación como soporte del desarrollo rural, - disminuir costos de producción, - reducción en los precios de la energía eléctrica y combustibles, reducción de impactos ambientales- disminución de costos del impuesto predial, - estructurar políticas crediticias, - estímulos a la demanda de productos lácteos, - control al contrabando, - mejoramiento de la estructura vial, - seguridad jurídica para invertir y para conservar las tierras adquiridas legalmente y, - desarrollar la asociatividad (FEDEGAN, 2020); (FEDEGAN, 2015); (Estrada & Holmann, 2008).

Lograr la competitividad de los sistemas ganaderos en general, y de los sistemas de lechería especializada en particular, significa demostrar las ventajas comparativas de sus tecnologías y sus niveles de producción, de la calidad de sus productos ganaderos y especialmente de la inocuidad para la salud de los consumidores, así como de los beneficios ambientales y sociales que aportan (Barrios, Restrepo & Cerón, 2016); (Barrios & Olivera, 2013); (CEPAL-FAO-IICA, 2018); (Nahed, 2008). Analizar los sistemas ganaderos desde esta perspectiva requiere de una metodología multicriterio o multidimensional para la toma de decisiones en el ámbito tecnológico, económico, ambiental y social; dicha metodología de análisis, síntesis y evaluación se convierte en una valiosa herramienta de planificación y control, puesto que no sólo, permite conocer las tendencias de cambio que prevalecen en los sistemas productivos y sus posibles consecuencias, sino que además, contribuye a definir escenarios deseables, e identificar

una o varias intervenciones planificadas sobre el sistema que puedan modificar sus tendencias actuales no deseables (Nahed, 2008); (Falconi & Burbano, 2004).

Es así como Colombia requiere mayores y sostenidos esfuerzos para mejorar su productividad y competitividad. Dichos esfuerzos requieren voluntad de todos los eslabones productivos y del Estado (FEDEGAN, 2021).



## **3. Metodología de investigación**

En este capítulo se describe la metodología propuesta para esta investigación. A través de esta, se pretende integrar conocimientos teóricos y prácticos. La investigación se aborda tanto desde la perspectiva teórica-conceptual como aplicada. Con el propósito de alcanzar los objetivos planteados, esta investigación inicia con una búsqueda y revisión de información secundaria (artículos de revistas científicas, libros, documentos, congresos, seminarios), con el fin de abordar la caracterización de los sistemas de producción bovinos de leche en Colombia, conceptualizar el término sostenibilidad, metodologías para el análisis y evaluación de la sostenibilidad en sistemas agropecuarios, así como, los métodos de decisión multicriterio y su aplicación en estudios de sostenibilidad. El análisis de las diferentes fuentes bibliográficas se centró en la revisión tanto de conceptos como en experiencias de investigación.

### **3.1 Descripción de la metodología**

La metodología para llevar a cabo la presente investigación se desarrolló en cuatro etapas: etapa 1, Análisis de metodologías implementadas en análisis de sostenibilidad; etapa 2, Proponer un modelo de indicador integral de sostenibilidad; etapa 3, aplicar diferentes métodos de selección multicriterio; y etapa 4, proponer un contraste entre los métodos aplicados, con el fin de analizar la robustez del modelo de indicador integral y los métodos de decisión multicriterio.

#### **3.1.1 Etapa 1. Metodologías implementadas en el marco de análisis de sostenibilidad en SPBL**

Se realizó una revisión de la literatura, con el fin de preparar una lista de modelos, metodologías y herramientas, que midieran la sostenibilidad en sistemas de ganadería a

nivel nacional, en Latino América y en el ámbito internacional. Se definieron varios criterios para seleccionar las investigaciones desarrolladas en el tema de estudio: los modelos, y metodologías deben incluir al menos una especie de ganado bovino específica, lo que permitió excluir aquellas investigaciones en producción de cultivos únicamente y donde se describía otro tipo de ganado. Las investigaciones debían centrarse en el nivel de granja, finca o hato, se seleccionaron aquellos estudios donde se proponía modelos y metodologías a nivel de finca, porque la finca es la principal unidad de gestión de un sistema productivo. (Payraudeau & Van der Werf, 2005). Los estudios revisados debían medir al menos uno de los pilares de la sostenibilidad, es así como, se revisaron estudios donde se analizaban la sostenibilidad ecológica o ambiental, sostenibilidad económica, sostenibilidad social y adicionalmente, también se revisaron trabajos donde se incluyera la sostenibilidad técnica.

Se definió posteriormente en la búsqueda, estudios donde se analizarán modelos de indicadores integrales, indicadores compuestos, indicadores agregados e indicadores sintéticos, como herramientas apropiadas para medir la sostenibilidad en SPBL. Se incluyó en las revisiones, estudios donde se pudiera medir el impacto con la aplicación del modelo o metodología, sin embargo, la revisión no arrojó ningún resultado al respecto.

Se realizó una búsqueda sistemática utilizando los motores de búsqueda Scopus, SciELO, World Wide Science, entre otros. Es importante mencionar, que no se realizaron análisis bibliométricos de las revistas científicas consultadas, teniendo consciencia, de su importancia como fuente confiable de información.

### **3.1.2 Etapa 2: Propuesta de modelo de indicador integral**

En esta investigación se propuso un modelo de indicador que integra dimensiones económico-financiera, técnica, social y ambiental, al respecto se revisaron los modelos y metodologías de varios estudios (Pérez, et al., 2002; Murillo et al., 2004a y 2004b; Nasca et al., 2006; Van Calker et al., 2008; Ríos, 2010; Gómez-Limón y Sánchez-Fernández, 2010; Fumagalli, et al., 2011; Ripoll-Bosch, et al, 2012; Arias-Reverón et al, 2012; Franco, Gaspar & Mesias, 2012; Tommasino et al., 2012; Sturaro, et al., 2013; Chand, Sirohi & Sirohi, 2015; Ruiz et al., 2018; Mathios, 2019).

## Lista de subcriterios

A partir de información primaria y en contraste con la información secundaria revisada, se propuso una lista de posibles subcriterios (variables), que debían estar incluidas en cada una de las dimensiones: económica-financiera, técnica, social y ambiental, con el fin de determinar cada uno de los indicadores que entrarían al modelo de indicador integral.

## Análisis y depuración de subcriterios

Una vez establecida la lista de variables a utilizar en el modelo de indicador integral, y teniendo presente, que es mejor considerar un número pequeño de variables explicativas, para tener mayor comprensión del modelo, se realizó un análisis estadístico de correlaciones múltiples, con el fin de determinar aquellas variables que presentarán poca o nula correlación y que mostrarán algún traslape entre ellas, que pudiera sesgar el resultado del indicador. Posteriormente, y para tener la certeza de que se eliminará del modelo aquellas variables que no estuvieran aportando información relevante al cálculo del indicador integral, se complementó con un análisis adicional útil para estudiar una base de datos concreta, donde se calculó el criterio AIC (criterio de información de ACAIQUE), muy utilizado en econometría. Los análisis estadísticos se realizaron en el lenguaje y ambiente para cálculos estadísticos R (*R Development Core Team, 2019*).

## Normalización de subcriterios

Con el fin de ajustar los valores medidos de subcriterios en diferentes escalas frente a una escala común se normalizaron utilizando el método de máximos y mínimos, el cual consiste en traer todos los valores en el rango de [0,1], normalización basada en la unidad como se observa en las ecuaciones 3.1 y 3.2:

$$X' = \frac{(X - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} \quad (3.1)$$

$$X' = \frac{(X_{\max} - X)}{(X_{\max} - X_{\min})} \quad (3.2)$$

Donde:

$X'$ : valor normalizado

$X$ : valor a normalizar

$X_{max}$ : Valor máximo dentro del rango de datos

$X_{min}$ : valor mínimo dentro del rango de datos

## Priorización de dimensiones y subcriterios

Para la priorización de dimensiones y subcriterios, se utilizó el Proceso Analítico Jerárquico, por sus siglas en inglés AHP (Analytic Hierarchy Process), el método, se basa en realizar una asignación de ponderaciones para cada una de las dimensiones y subcriterios utilizados, en función de la importancia de cada uno frente al resto (Saaty, 1977, 2000). Consiste en combinar las respuestas en un sistema matricial estructurado, con el fin de determinar los pesos de las dimensiones y de los subcriterios. Para hacer la ponderación con AHP, se comenzó comparando los cuatro criterios objetivos: dimensión económica-financiera, dimensión técnica, dimensión social y dimensión ambiental, para determinar sus pesos; se continúa con el procedimiento, una vez que se ha encontrado el vector de pesos, se siguen comparando los subcriterios dentro de cada dimensión. El AHP, es uno de los métodos discretos de más uso en la priorización de criterios, subcriterios e indicadores (Díaz-Balteiro et al., 2017; Roy y Słowiński, 2013; Gómez-Limón y Sánchez-Fernández, 2009).

## Obtención de indicadores

Con el fin de determinar el indicador integral, se calcularon cada uno de los indicadores en cada dimensión así:

- Indicador de sostenibilidad dimensión económico-financiera (ISDF):

$$ISDF = \sum_{i=1}^n (ScFi_{(normalizada)} * P_{ij}) \quad (3.3)$$

Donde:

*ISDF*: Indicador de Sostenibilidad Dimensión económico-financiera

*ScFi*: cada uno de los subcriterios financieros propuestos y normalizados

*P<sub>ij</sub>*: valores priorizados de cada *ScFi* (según método AHP)

*n*: número de subcriterios en la dimensión económica-financiera.



- Indicador de sostenibilidad dimensión técnica (ISDT):

$$ISDT = \sum_{i=1}^n (ScT_{i(normalizada)} * P_{ij}) \tag{3.4}$$

Donde:

*ISDT*: Indicador de Sostenibilidad Dimensión Técnica

*ScTi*: cada uno de los subcriterios técnicos propuestos y normalizados

*Pij*: valor priorizado de cada *ScTi* (según método AHP)

*n*: número de subcriterios en la dimensión técnica

- Indicador de sostenibilidad dimensión social (ISDS):

$$ISDS = \sum_{i=1}^n (ScS_{i(normalizada)} * P_{ij}) \tag{3.5}$$

Donde:

*ISDS*: Indicador de Sostenibilidad Dimensión Social

*ScSi*: cada uno de los subcriterios sociales propuestos y normalizados

*Pij*: valor priorizado de cada *ScSi* (según método AHP)

*n*: número de subcriterios en la dimensión social

- Indicador de sostenibilidad dimensión ambiental (ISDA)

$$ISDA = \sum_{i=1}^n (ScA_{i(normalizada)} * P_{ij}) \tag{3.6}$$

Donde:

*ISDA*: Indicador de Sostenibilidad Dimensión Ambiental

*ScAi*: cada uno de los subcriterios ambientales propuestos y normalizados

*Pij*: valor priorizado de cada *ScAi* (según método AHP)

*n*: número de subcriterios en la dimensión ambiental.

## Cálculo del Indicador Integral

Una vez determinado el indicador en cada una de las dimensiones analizadas, se calculó el indicador integral como lo muestra la ecuación 3.7:

$$IISLE = \sum_{i=1}^m (ISDi * Pij) \quad (3.7)$$

Donde:

*IISLE*: Indicador Integral de Sostenibilidad en Lechería Especializada

*ISDi*: Indicador de Sostenibilidad determinado en cada dimensión

*Pij*: valor priorizado de cada *ISDi* (según método AHP)

*m*: cada uno de los indicadores de las cuatro dimensiones

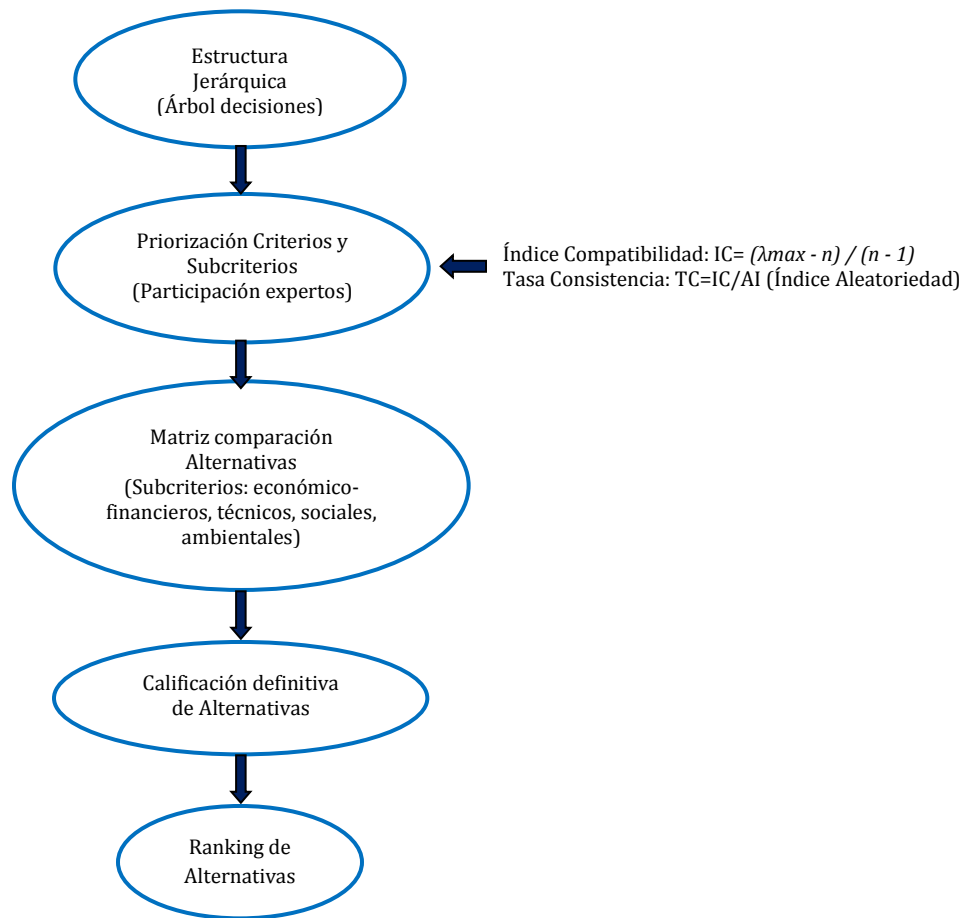
### 3.1.3 Etapa 3. Aplicación de métodos multicriterio seleccionados

La selección de los métodos de decisión multicriterio para ser aplicados en este estudio surge a partir de: el análisis de las consideraciones que deben tenerse presentes al seleccionar el o los métodos de decisión, para evaluar los diversos problemas a estudiar según varios autores (Saaty y Ergu, 2015; Roy y Słowiński, 2013; Sadok et al., 2007; Triantaphyllou, 2000). De revisar los métodos que han sido más utilizados en el análisis y evaluación de la sostenibilidad (Diaz-Balteiro et al., 2017; Gan et al., 2017; Santos y Brandi, 2015; Cinelli et al., 2014).

Esta decisión se justifica en las consideraciones mencionadas en el párrafo anterior y entre otras características tales como: - la similitud en la aplicación (Roy y Słowiński, 2013), - la facilidad en la manipulación de los datos, - la aplicación en varios estudios relacionados con sostenibilidad y – por último varios autores recomiendan que es mejor usar varios métodos de ser posible para los mismos problemas de decisión (Roy y Słowiński, 2013; Wang y Triantaphyllou, 2006; Macharis et al., 2004), ya que aún no se ha logrado concluir como abordar la decisión de que método es el más apropiado para determinado problema, y al parecer esta no es una tarea sencilla (Saaty y Ergu, 2015). Finalmente, en consideración a la información anterior, para esta investigación, se toma la decisión de comparar los métodos AHP, TOPSIS y VIKOR, ya conceptualizados en el capítulo 1.

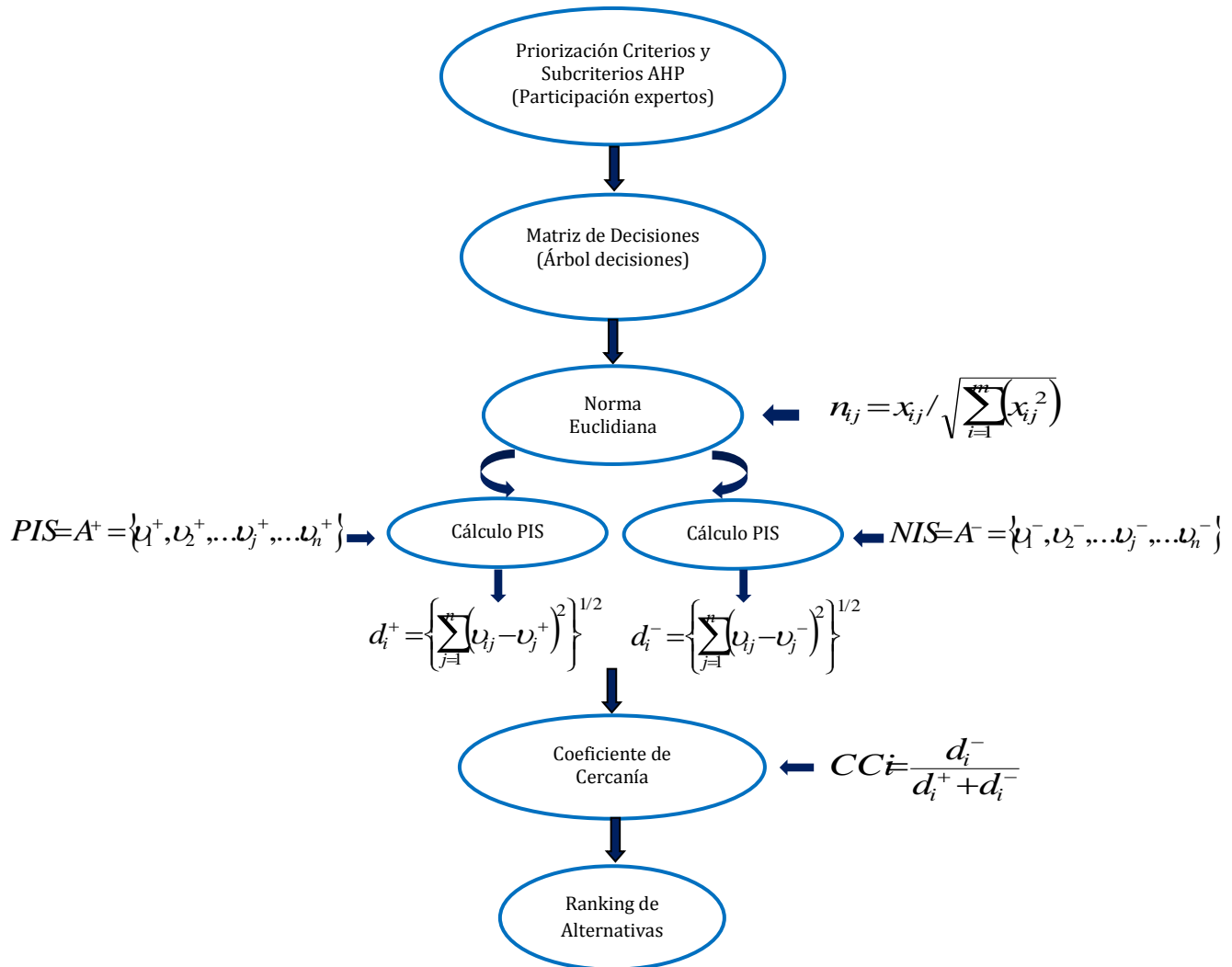
En las figuras 3-1, 3-2 y 3-3, se resume el procedimiento de aplicación de los métodos AHP, TOPSIS y VIKOR, respectivamente.

**Figura 3-1:** Procedimiento proceso analítico jerárquico.



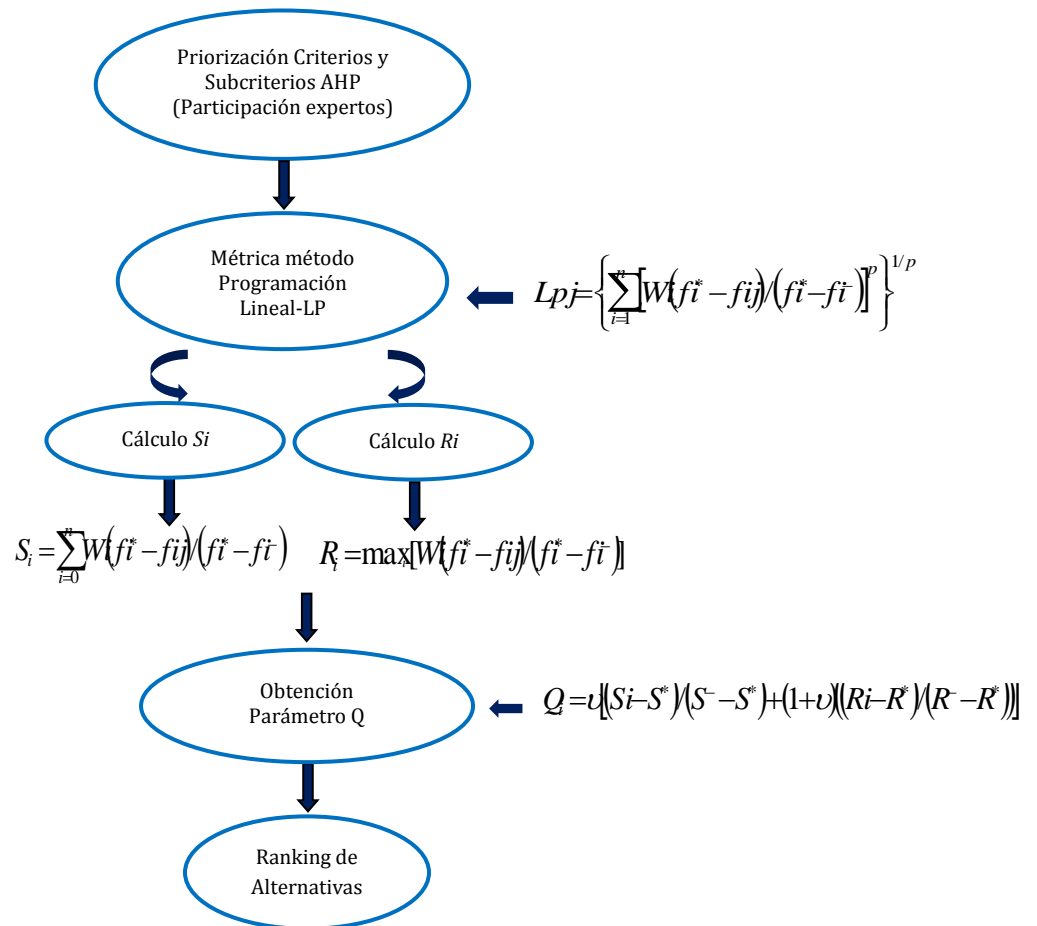
Fuente. Elaboración propia

**Figura 3-2:** Procedimiento técnica para el orden de preferencia por similitud a solución ideal



Fuente: Elaboración propia

**Figura 3-3:** Procedimiento método de optimización multidisciplinar y solución de compromiso.



Fuente: Elaboración propia

### 3.1.4 Etapa 4. Contraste entre el modelo de indicador integral y los métodos multicriterio aplicados

Con el fin de determinar qué tan relacionados se encuentran los resultados de la implementación de los métodos AHP, TOPSIS y VIKOR, respecto al resultado obtenido del modelo de indicador integral de sostenibilidad en lechería especializada IISLE, se realiza un análisis estadístico determinando el Coeficiente de Correlación Y de Pearson, el cual se explica en la ecuación 3.8.

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad ; S_{xy} < S_x S_y; \quad -1 \leq r_{xy} \leq +1 \quad (3.8)$$

Donde:

$r_{xy}$ : Coeficiente de Correlación Y de Pearson

$S_{xy}$ : Covarianza de xy

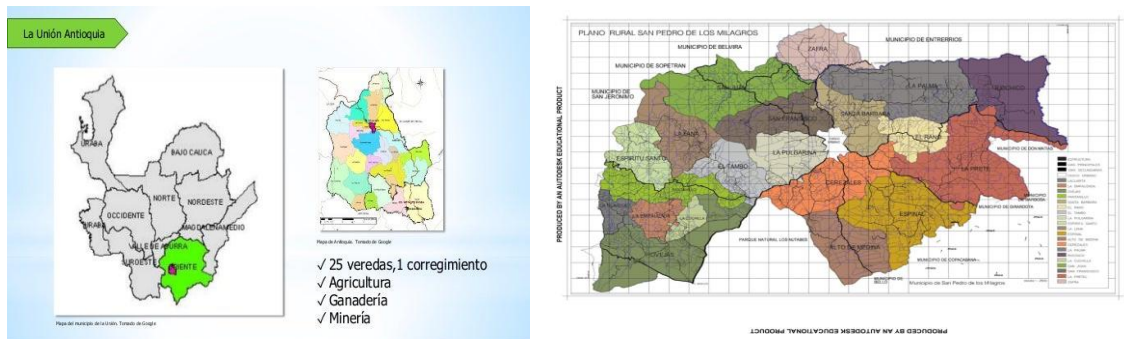
$S_x S_y$ : Producto de las desviaciones típicas de x e y

## **4. Estudio de caso: aplicación de métodos a varias alternativas de sistemas de lechería en Antioquía**

### **4.1 Área de estudio**

La investigación se llevó a cabo en 18 fincas dedicadas al sistema de lechería especializada pastoreo intensivo suplementado, estos sistemas se encuentran localizados en el trópico alto del departamento de Antioquía. Los hatos tienen como finalidad la cría y levante de novillas para el reemplazo y la producción de leche. Los hatos fueron ubicados en las veredas: Charco Verde, La Pulgarina, La Lana, El Tambo, Quebrada Negra, Las Acacias, La Concha, Buenavista y La Almería, en los municipios de San Pedro de los Milagros, localizado en la Región Norte a una distancia de 44 kilómetros del Municipio de Medellín, a los 06°19'19" de latitud norte y a 075°37'40" de longitud occidental, tiene una extensión de 229 km<sup>2</sup>, temperatura media de 16°C. y una altura sobre el nivel de 2.475 metros (PDMSDLM, 2016-2019). Y La Unión, localizado en la Región del Oriente Antioqueño a una distancia de 56 kilómetros del Municipio de Medellín. Se encuentra ubicado a los 05°58'38" de latitud norte y a 75°24'54" de longitud occidental, tiene 168 km<sup>2</sup>, temperatura media de 13°C y altura sobre el nivel del mar de 2.500 metros (PDMLU, 2016-2019).

Estos sistemas de producción lechería especializada, están conformados básicamente por pequeños y medianos productores, cuentan con un promedio de 26 animales en producción y una producción promedio de 17 litros/leche/vaca/día, los costos de producción promedio por litro de leche son de aproximadamente \$1000 (según la estructuración de costos que se realizó a cada sistema productivo, con base a la información primaria recolectada en la entrevista semiestructurada), por encima del promedio nacional según FEDEGAN (2018).

**Figura 4-1:** Mapa municipios de San Pedro de los Milagros y La Unión.

Fuente: PDMSDLM, 2016-2019

Fuente: <http://www.launion-antioquia.gov.co>.

Los precios pagados al productor por litro de leche en promedio no superan los \$1000. Los productores cuentan con un nivel tecnológico medio - alto, dado principalmente por presentar salas y equipos de ordeño, tanque de almacenamiento de leche, caminos en cemento para el desplazamiento cómodo de los animales, desde los potreros hasta el sitio de ordeño, animales de raza pura especializadas en producción de leche, alimentación suplementada. En general cuentan con poco acompañamiento por parte de instituciones gubernamentales y muy pocas posibilidades de acceder a créditos (Información primaria, recolectada y analizada, según el cuestionario de la entrevista semiestructurada).

Los ingresos netos del productor están dados por la venta de la leche, venta de terneros destetos y la venta de animales que ya han terminado su ciclo productivo. Según la norma vigente en Colombia (Resolución 017 de 2012), la calidad de la leche (dada por el porcentaje de proteína y grasas, recuento de células somáticas) es el factor que determina los valores mínimos que debe pagar la industria láctea al productor por cada litro comprado, este precio además, cuenta con variaciones debidas a descuentos por transporte de la leche desde la finca hasta los centros de almacenamiento industrial. Sin embargo, estos precios no compensan los altos costos de producción por litro de leche, debidos entre otras razones, a los costos por suplementación, manejo adecuado de pasturas, mano de obra, infraestructura. Las estrategias con las que cuenta el productor para disminuir estos costos de producción son escasas e incrementar los porcentajes de proteína y grasa se convierte en una actividad imposible de superar. Es importante que los actores involucrados en estos sistemas productivos procuren por desarrollar e implementar propuestas que permitan al productor transformar una parte de esta materia prima en



productos y subproductos y garantizar así, incrementar sus ingresos, disminuir los costos de producción y asegurar un aumento de sus márgenes de utilidad.

## 4.2 Recopilación de información primaria

### 4.2.1 Selección de alternativas

Los sistemas de producción pastoreo intensivo suplementado en lechería especializada para el estudio (alternativas), fueron seleccionados siguiendo la técnica de muestreo no probabilístico, intencionado o muestreo por conveniencia, ya que la autora contactó a los productores que estaban interesados en participar en este estudio, y contaban con la información apropiada. Lo más indicado para lograr una muestra representativa, es elegir los participantes al azar utilizando un muestreo aleatorio, es decir, seleccionando los individuos (productores) con el fin de que todos ellos tengan la misma probabilidad de formar parte de la muestra; sin embargo, cuando esto no es posible, como en el caso de este estudio, la opción podría ser, seleccionar a los individuos según un muestreo de conveniencia (Gallardo & Moreno, 1999).

Estas alternativas, se definieron de acuerdo con las siguientes variables y se muestran en la tabla 4-1:

- Tamaño del hato dado por el número de vacas en producción: pequeño (menos de 26), mediano (26 – 50) y grande (mayor de 50) (Barrios & Olivera, 2013).
- Razas predominantes: sólo Holstein, solo Jersey y ambas Holstein y Jersey
- Certificado de buenas prácticas ganadera (BPG): con certificado CBPG y sin certificado SBPG

**Tabla 4-1:** Alternativas seleccionadas

Alternativa	Descripción
A1	Pequeño Holstein CBPG
A2	Mediano Holstein CBPG
A3	Grande Holstein CBPG
A4	Pequeño Holstein SBPG
A5	Mediano Holstein SBPG
A6	Grande Holstein SBPG
A7	Pequeño Jersey CBPG
A8	Mediano Jersey CBPG

**Tabla 4-1:** (Continuación)

Alternativa	Descripción
A9	Grande Jersey CBPG
A10	Pequeño Jersey SBPG
A11	Mediano Jersey SBPG
A12	Grande Jersey SBPG
A13	Pequeño Holstein-Jersey CBPG
A14	Mediano Holstein-Jersey CBPG
A15	Grande Holstein-Jersey CBPG
A16	Pequeño Holstein-Jersey SBPG
A17	Mediano Holstein-Jersey SBPG
A18	Grande Holstein-Jersey SBPG

Fuente: Elaboración propia

### 4.2.2 Aplicación de entrevista semiestructurada

La recolección de información se realizó entre julio y diciembre de 2018. Para recopilar la información primaria, se diseñó una entrevista semiestructurada (ver anexo A), la cual se aplicó a los sistemas de producción de lechería especializada seleccionados para el estudio, con el fin de determinar cada uno de los subcriterios (variables), dentro de las cuatro dimensiones a analizar: económica-financiera, técnica, social y ambiental. Con respecto a los subcriterios en la dimensión económica-financiera, la información de costos se analizó de acuerdo con la metodología de costeo por absorción propuesta por Álvarez & Sánchez, (2011). De igual manera para determinar margen bruto, rentabilidad, relación B/C, se empleó la metodología de indicadores financieros propuesta por García S., (1999).

A partir de la información primaria, recopilada en cada uno de los sistemas de producción de lechería especializada seleccionados para el estudio, se conformó una base de datos en Microsoft Excel <sup>TM</sup>, la cual permitió estructurar los costos de producción por litro de leche y por kilogramo de pasto verde como suplemento alimenticio para los animales. Estructurar el valor de las inversiones en: establecimiento de potreros y cercas eléctricas, crías, novillas de levante y reemplazo, salas y equipo de ordeño, tanque de almacenamiento de leche, tanque de procesamiento de excretas y aguas residuales, establos, entre otros. Con esta información se determinaron los subcriterios en la dimensión económica-financiera.

La base de datos también permitió determinar todos los parámetros productivos y reproductivos como: producción promedia vaca/día, intervalo entre partos, días abiertos, partos hatos/año, buenas prácticas ganaderas, relación leche / concentrado, entre otros, con el fin de determinar los subcriterios en la dimensión técnica. Asimismo, los subcriterios

en la dimensión social se analizaron teniendo en cuenta la escala de percepción establecida para cada uno de los subcriterios seleccionados; finalmente, en la dimensión ambiental, se utilizaron promedios para algunos subcriterios y la gran mayoría se analizaron con respecto a escalas *Likert*, propuestas en el trabajo de Ríos, (2010) y que se retomaron para esta investigación.

## **4.3 Modelo de indicador integral de sostenibilidad**

### **4.3.1 Dimensiones de la sostenibilidad en SPBL**

#### **Dimensión económica-financiera**

En los sistemas de producción pastoreo intensivo suplementado en lechería especializada que se analizaron en el estudio de caso de esta investigación, en la dimensión económica-financiera se consideran varios componentes: los ingresos netos que se generan por las ventas de la leche, los terneros destetos y el descarte de animales que han finalizado su vida productiva y el precio de venta de estos productos; los costos de producción fijos y variables involucrados en la producción, así como los gastos de administración y ventas; la utilidad que se genera al descontar de los ingresos, los costos y los gastos; para posteriormente y teniendo en cuenta el componente de inversiones, determinar la rentabilidad alcanzada.

En los estudios realizados en América Latina por Mathios, (2019), Ruiz et al., (2018), se consideraron similares variables en la dimensión económica, mientras que los estudios llevados a cabo por Arias-Reverón et al., (2012), Murillo et al., (2004b) y Tommasino et al., (2012), para la dimensión económica la única variable que coincide es la de ingresos netos; al igual, que, en el estudio realizado por Pérez et al., (2002), en el estado de Zulia, Venezuela. Por otro lado, estudios realizados en ovinos al noreste de España por Ripoll-Bosch et al., (2012), evaluaron la sostenibilidad a nivel de finca en las dimensiones social, económica y ambiental. A nivel económico, consideraron variables similares al presente estudio, como rentabilidad, ingresos netos, productividad animal. Similares estudios llevados a cabo en la región de Lombardía, norte de Italia por Fumagalli et al., (2011), para analizar la sostenibilidad a nivel económico, midieron las variables ingresos netos, costos fijos y variables de producción, margen bruto, precio de venta. Asimismo, Sturaro et al.,

(2013), consideraron para la sostenibilidad económica las variables producción promedio, precio de venta y rentabilidad.

### **Dimensión técnica**

Para el estudio de caso de este trabajo, en la dimensión técnica se han considerado el componente animal y el componente de pasturas, con respecto al componente animal, se tienen en cuenta parámetros como: producción promedio vaca/día, intervalo entre partos, días abiertos, número promedio de partos hato/año, certificado de tuberculosis y brucelosis, buenas prácticas ganaderas, relación leche/concentrado, duración de lactancia y tasa de natalidad. En el componente de pasturas, se consideraron mediante aforos, la cantidad producida de materia verde y de materia seca con el fin, de asegurar suplemento suficiente para los animales del hato (incluye estudios bromatológicos, concentrados y suplementos como las sales). Estudios realizados por Ruiz et al., (2018), en Antioquia, Colombia, analizaron variables similares para evaluar la sostenibilidad y para clasificar las fincas de acuerdo con el nivel de intensificación. A nivel técnico, Arias-Reverón et al., (2012) y Murillo et al., (2004b), identificaron para el análisis de sostenibilidad las variables producción de leche, carga animal, producción de materia verde y seca, similares a las evaluadas en este estudio.

### **Dimensión social**

En los sistemas de producción de lechería especializada, analizados en el estudio de caso, generalmente es el propietario quien se encarga de la producción, acompañado permanentemente por una persona de confianza que puede ser un administrador o un mayordomo y entre uno y tres operarios, quienes se encargan de todas las labores del hato como: manejo de potreros, ordeño, manejo de los animales, entre otras actividades. Se consideraron en esta dimensión las siguientes variables: calidad de vida, relación entre productores, facilidades de acceso al mercado y a crédito, apoyo de instituciones gubernamentales, relevo generacional, así como la satisfacción y el sentido de pertenencia de los trabajadores. Los estudios realizados por Ruiz et al., (2018), incluyeron dentro del análisis variables similares a las analizadas en este estudio. Mientras que los trabajos de Arias-Reverón et al., (2012) y Murillo et al., (2004b), evaluaron variables relacionadas con la seguridad y bioseguridad de productor y empleados. Por otro lado, Tommasino et al., (2012), analizaron variables similares como calidad de vida y relevo generacional. Ripoll-

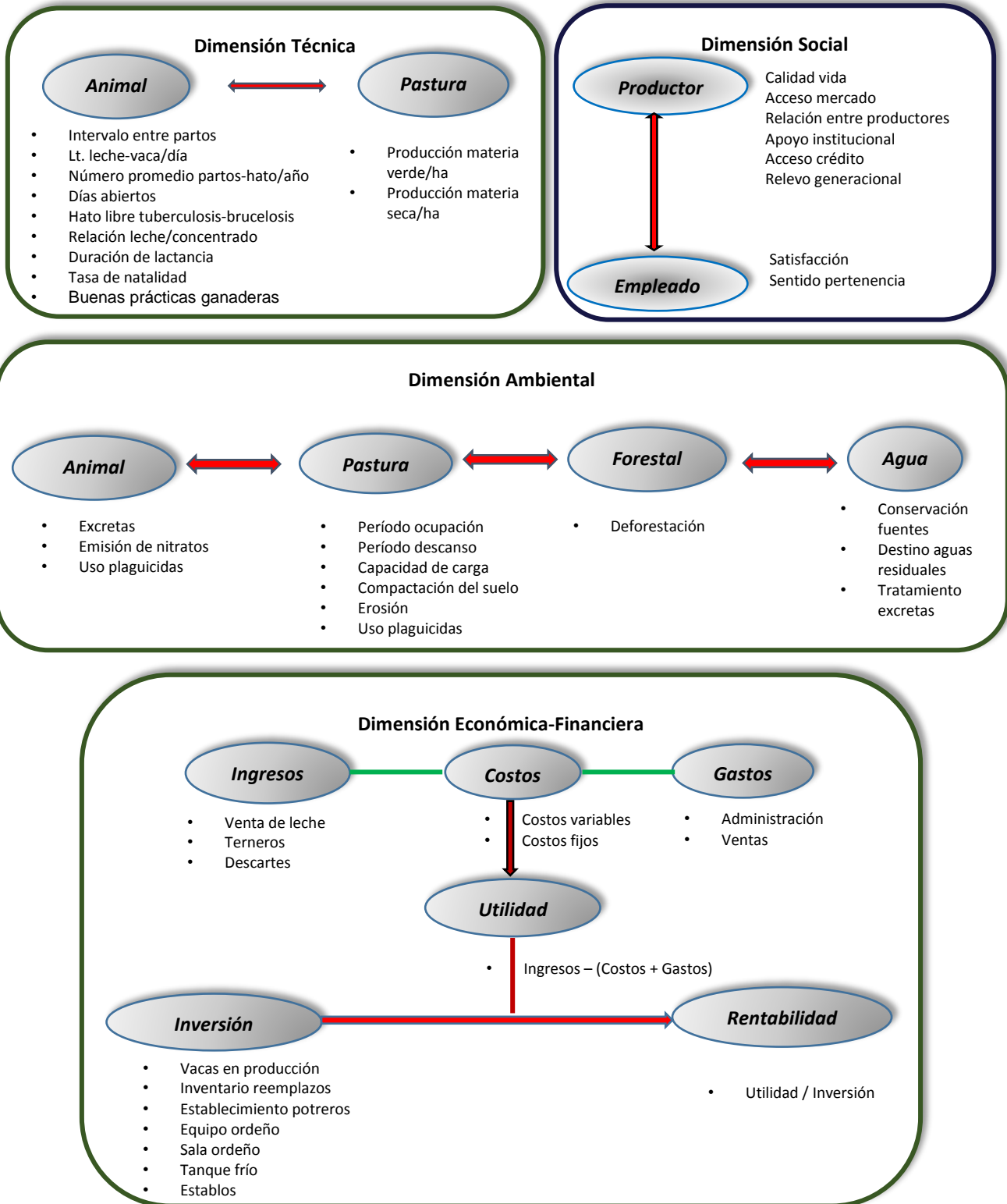
Bosch et al., (2012), dentro de su estudio, coincidieron respecto a las variables calidad de vida y relevo generacional.

### **Dimensión ambiental**

Para el estudio de caso, a nivel ambiental se consideraron los componentes, animal, pasturas, forestal y agua, los impactos que se generan dentro de estos sistemas productivos van desde la emisión de excretas y de nitratos, uso de plaguicidas para el control de plagas y enfermedades en los animales y los pastos, el período de ocupación y de descanso de los potreros en el proceso de rotación de animales, la capacidad de carga que ocasiona compactación del suelo y procesos erosivos, deforestación por la ampliación de la frontera de producción y la construcción de cercas, contaminación de fuentes de aguas, entre otros. Al respecto Pérez et al., (2002) en su estudio, tuvieron en cuenta variables similares como la tasa de utilización de plaguicidas y fertilizantes. Mientras que Ruiz et al., (2018) y Mathios, (2019), consideraron similares variables para analizar la sostenibilidad ambiental. En los estudios realizados por Arias-Reverón et al., (2012) y Murillo et al., (2004b), analizaron a nivel ecológico variables similares como tratamiento de excretas y destino de aguas residuales. Por su parte, Tommasino et al., (2012), en la dimensión ecológica evaluaron protección y conservación de fuentes de agua, manejo y uso del suelo, como variables similares al presente estudio. Por otro lado, el trabajo de Fumagalli et al., (2011) consideró variables similares como uso de agroquímicos, prácticas de conservación de suelos y tratamiento de excretas. Las prácticas de conservación del suelo y la capacidad de carga fueron las variables que se encontraron como similares en el estudio de Sturaro et al., (2013)

La figura 4-2, presenta los componentes y los diferentes subcriterios, parámetros, variables que se consideraron al analizar la sostenibilidad de los sistemas de producción pastoreo intensivo suplementado en lechería especializada, seleccionados para el estudio de caso, teniendo en cuenta las dimensiones económica-financiera, técnica, social y ambiental.

Figura 4-2: Dimensiones para analizar sostenibilidad en lechería especializada.



Fuente: Elaboración propia

### 4.3.2 Análisis y depuración de subcriterios (variables)

Los subcriterios originales, definidos a partir de observaciones en campo y específicamente para los sistemas de producción de leche en análisis, fueron contrastados con revisión de literatura y analizados inicialmente con cada uno los productores. Los subcriterios que se establecieron dentro de cada una de las dimensiones fueron: diez económico-financieros, once técnicos, ocho sociales y trece ambientales, como se muestran en el anexo B tabla B-1. Esta lista de subcriterios fue analizada por un panel de expertos (cuatro zootecnistas productores, dos ingenieros agrónomos ambientalistas, dos ingenieros forestales, un ingeniero de producción y una ingeniera administrativa), este grupo de expertos se conformó teniendo en cuenta su amplio conocimiento en estos sistemas productivos, experiencia en el campo de bosques y conservación ambiental, en el manejo de variables financieras y de producción y en toma de decisiones de gestión. El resultado de este análisis resume los siguientes subcriterios: nueve económico-financieros, nueve técnicos, siete sociales y diez ambientales.

Posteriormente, fue posible simplificar el número original de subcriterios, para ello se realizó un análisis de correlación múltiple y se complementó con un análisis adicional, útil para estudiar una base de datos concreta, donde se calculó el criterio AIC (criterio de información de ACAIQUE), muy utilizado en econometría. Los resultados de este análisis, los cuales se muestran en el anexo B, tabla B-9, permitió reducir los subcriterios así: siete económico-financieros, siete técnicos, seis sociales y diez ambientales. Según Díaz-Balteiro, et al., (2017), parece ser que muy pocos estudios aplican este proceso y Salvado, Azevedo, Matias & Ferreira, (2015), sugieren que debe realizarse esta práctica ya que, si existe correlación entre subcriterios, algunos métodos de MCDM no pueden aplicarse.

En la tabla 4-2 se observa la lista de subcriterios (Sc) seleccionados en cada dimensión, los cuales fueron medidos directamente en campo mediante metodologías y muestreos apropiados para cada uno de ellos, como ya se explicó anteriormente.

Tabla 4-2: Dimensiones y subcriterios.

Dimensiones/subcriterios	Siglas	Método
<b>Dimensión Financiera (DF)</b>		
Producción promedia (PP)-vaca/año, determinada en registros de fincas	ScF1	Encuesta semiestructurada
Costo litro leche, se determinó costo de producción-vaca/año (CTP/vaca) y producción promedia vaca-año (PP).	ScF2	CTP-vaca-año/PP-vaca-año
Relación B/C, se determinó con Ingresos brutos.	ScF3	Ingresos Brutos-vaca-año/ CTP-vaca-año
Margen Bruto (MB), determinado por vaca/año	ScF4	Ingresos Brutos-vaca-año - CTP-vaca-año.
Rentabilidad, determinada por vaca/año	ScF5	MB/Activos Productivos (AP)-vaca
Punto de Equilibrio (PE), determinado con costo de producción-vaca/año y precio de venta por litro de leche (pvu)	ScF6	CTP-vaca-año/pvu
Costos producción-vaca/año, registro de ítems de costos en fincas	ScF7	Método de Costeo Absorción
<b>Dimensión Técnica (DT)</b>		
Litros vaca/día, producción vaca registros de fincas	ScT1	
Intervalo entre Partos, registros técnicos de fincas	ScT2	
Días abiertos, registros técnicos de fincas	ScT3	
Partos hatos/año, registros técnicos de fincas	ScT4	
Certificado de Tuberculosis y Brucelosis, identificación física del certificado.	ScT5	Encuesta semiestructurada
Buenas Prácticas Ganaderas, certificación física	ScT6	
Relación leche/concentrado, se identificó en los registros el consumo de concentrado según animales en producción y la PP	ScT7	
<b>Dimensión Social (DS)</b>		
Calidad de Vida, escala de percepción entre 1 y 12	ScS1	
Relevo Generacional, directamente con el productor	ScS2	
Consenso Social, escala de percepción entre 0 y 9	ScS3	Encuesta semiestructurada
Acceso al mercado, escala de percepción entre 1 y 6	ScS4	
Apoyo Institucional, escala de percepción entre 1 y 12	ScS5	
Facilidades Acceso al Crédito, escala de percepción entre 1 y 8	ScS6	
<b>Dimensión Ambiental (DA)</b>		
Protección y conservación de fuentes de agua, observación directa en sitios de ubicación de quebradas y humedales en fincas analizadas, medición ordinal, donde se asigna un valor numérico de 0 - 4, a diferentes grados de presencia de bosque protector.	ScA1	Escala <i>likert</i> , validada en campo,
Período de Ocupación, período de ocupación promedio, consultando el seguimiento en la base de datos de los diferentes potreros de cada finca.	ScA2	Entrevista semiestructurada
Período de Descanso, se midió período de descanso promedio, consultando el seguimiento en la base de datos de los diferentes potreros de cada finca.	ScA3	Entrevista semiestructurada
Capacidad de Carga, se obtuvo dividiendo el área total en praderas sobre el número promedio de animales en producción de cada hato, según la información registrada en la finca.	ScA4	Entrevista semiestructurada
Erosión, se seleccionó en cada finca 5 potreros al azar, dentro de los que iniciaron el período de descanso, en cada potrero fueron realizados dos recorridos en diagonal, se tomaron 5 puntos de observación, es decir, 25 observaciones por finca, se determinó el número de observaciones por característica de evidencia de procesos erosivos y se halló un promedio ponderado de calificación para cada finca.	ScA5	Escala <i>likert</i> , validada en campo,
Uso de Plaguicidas, número de aplicaciones y cantidades aplicadas; corroboró revisando los registros de compras en el período y el inventario de plaguicidas a la fecha de la recolección de la información	ScA6	Entrevista semiestructurada
Prácticas Conservación de suelo, observación directa en campo	ScA7	Escala ordinal entre 0 y 2
Tratamiento de excretas, observación directa en campo	ScA8	Escala ordinal entre 1 y 3
Destino aguas residuales, observación directa en campo	ScA9	Escala ordinal entre 1 y 3
Densidad de lombrices, Se midió excavando un hoyo en el suelo de 15 * 15 * 15, en el volumen de tierra extraído se realizó el conteo total de las lombrices, los datos fueron expresados en número de lombrices / m <sup>2</sup>	ScA10	Muestreo aleatorio en zig - zag, con 10 repeticiones en cada finca.

Fuente: Elaboración propia



### Subcriterios dimensión económica-financiera

- Producción promedio (PP) vaca/día: obtenida a través de los registros de ventas semanales de cada finca.
- Costo por litro de leche: se determinó de la estructura de costos totales de producción/año (CTP) y la PP vaca/año:  $CTP/PP = \text{cup}$
- Relación B/C: ingresos brutos por vaca/año (IB) y el costo de producción (CTP) vaca/año:  $IB/CTP = B/C$
- Margen Bruto (MB): ingresos brutos por vaca/año (IB) y el costo de producción (CTP) vaca/año:  $IB - CTP = MB$
- Rentabilidad vaca/año (R): determinado con el MB y los activos productivos (AP):  $MB/AP = R$
- Punto de Equilibrio (PE): se calculó con el CFT (costo fijo total) y el precio de venta promedio por litro de leche (pvu):  $CFT/pvu = PE$

### Subcriterios dimensión técnica

Como se explicó en la tabla 4-1, fueron obtenidos a partir de los registros reproductivos y productivos que maneja cada hatu para cada vaca en producción.

### Subcriterios dimensión social

Todos estos subcriterios fueron obtenidos de las escalas de percepción que se establecieron para cada uno de ellos, según entrevista semiestructura anexo A.

### Subcriterios dimensión ambiental

Protección y conservación de fuentes de agua: observación directa en sitios de ubicación de quebradas y humedales en fincas, medición ordinal, donde se asigna un valor numérico de 0 – 4, a diferentes grados de presencia de bosque protector, tabla 4-3.

**Tabla 4-3:** Escala *Likert* para evaluar grado de protección fuentes de agua

Características	% Área con presencia de bosque protector	Calificación
Ausencia de bosque protector	0	0
Presencia incipiente de bosque protector	25	1
Presencia media de bosque protector	50	2
Presencia media - alta de bosque protector	75	3
Presencia importante de bosque protector	> 75	4

Fuente: (Ríos, 2010)

- Período de ocupación: período de ocupación promedio, consultando el seguimiento en la base de datos de los diferentes potreros de cada finca.
- Período de descanso: se midió período de descanso promedio, consultando el seguimiento en la base de datos de los diferentes potreros de cada finca.
- Capacidad de carga: se obtuvo dividiendo el área total en praderas sobre el número promedio de animales en producción de cada hato, según la información registrada en la finca.
- Erosión: se seleccionó en cada finca 5 potreros al azar, dentro de los que iniciaron el período de descanso, en cada potrero fueron realizados dos recorridos en diagonal, se tomaron 5 puntos de observación, es decir, 25 observaciones por finca, se determinó el número de observaciones por característica de evidencia de procesos erosivos y se halló un promedio ponderado de calificación para cada finca, como lo muestra la tabla 4-4.

**Tabla 4-4:** Escala *Likert* para evaluar procesos erosivos

CARACTERISTICAS	CALIFICACION
Ausencia de erosión	0
Erosión superficial incipiente	1
Erosión superficial	2
Erosión con alguna evidencia de formación de terracetos	3
Erosión con formación de terracetos	4

Fuente: (Ríos, 2010)

- Uso de plaguicidas: número de aplicaciones y cantidades aplicadas; se corroboró revisando los registros de compras en el período y el inventario de plaguicidas a la fecha de la recolección de la información y se calificó según la tabla 4-5.

**Tabla 4-5:** Escala *Likert* para evaluar uso de plaguicidas

CARACTERISTICAS	CALIFICACION
Bajo uso de plaguicidas	3
Medio uso de plaguicidas	2
Alto uso de plaguicidas	1

Fuente: (Ríos, 2010)

- Prácticas de conservación de suelo: observadas directamente en campo y calificadas según la tabla 4-6

**Tabla 4-6:** Escala para evaluar prácticas de conservación de suelo

CARACTERISTICAS	CALIFICACION
Ausencia de prácticas de conservación	0
Uso abono orgánico o cercas vivas	1
Uso abono orgánico y cercas vivas	2

Fuente: (Ríos, 2010)

- Tratamiento de excretas: observación directa en cada finca y calificada de acuerdo a la tabla 4-7

**Tabla 4-7:** Escala para evaluar tratamiento de excretas

CARACTERISTICAS	CALIFICACION
Dejar directamente en campo	1
Recolección en tanque estercolero y aplicación directa en potreros	2
Recolección en tanque estercolero y compostar	3

Fuente: (Ríos, 2010)

- Densidad de lombrices: Se midió excavando un hoyo en el suelo de 15 \* 15 \* 15, en el volumen de tierra extraído se realizó el conteo total de las lombrices, los datos fueron expresados en número de lombrices / m<sup>2</sup> Muestreo aleatorio en zig – zag, con 10 repeticiones en cada finca.
- Destino de aguas residuales: observación directa en campo y calificada según la tabla 4-8

**Tabla 4-8:** Escala para evaluar destino de aguas residuales

CARACTERISTICAS	CALIFICACION
Directamente a la quebrada	1
Alcantarillado	2
Pozo séptico	3

Fuente: (Ríos, 2010)

En la definición de subcriterios e indicadores en cada dimensión, para llevar a cabo el análisis de los métodos desarrollados en este estudio, se contó con la participación de los productores, su entorno familiar y técnicos, con el fin de discernir sobre la representatividad

y la relevancia, consideradas en la información que contienen cada uno de estos indicadores, este ejercicio permitió conocer de primera mano como lo señala Claverias, (2000), sus necesidades, su conocimiento sobre su sistema productivo, sus preocupaciones con respecto al manejo y utilización de los recursos, su inconformidad con la falta de acompañamiento de instituciones públicas y privadas relacionadas con esta actividad económica, así como las limitaciones para acceder a recursos para financiar y potencializar su sistema productivo y así poder tomar decisiones para su gestión.

### **4.3.3 Priorización de dimensiones y subcriterios**

Con el fin de determinar la importancia relativa de cada dimensión y de subcriterios, se priorizaron. Esta se llevó a cabo en dos pasos: primero se realizó reunión de consenso con el panel de expertos, donde cada uno de acuerdo con su nivel de conocimiento y área de interés, evaluó la importancia de cada una de las dimensiones y de los subcriterios. Segundo, una vez obtenido el resultado de la evaluación de los expertos, se utilizó el Proceso Analítico Jerárquico, por sus siglas en inglés AHP (Analytic Hierarchy Process), este método, se basa en realizar una asignación de ponderaciones para cada una de las dimensiones y subcriterios utilizados, en función de la importancia de cada uno frente al resto (Saaty, 1977, 2000). Consiste en combinar las respuestas en un sistema matricial estructurado, con el fin de determinar los pesos de las dimensiones y de los subcriterios. Para hacer la ponderación con AHP, se comenzó comparando los cuatro criterios objetivos: dimensión económica-financiera, dimensión técnica, dimensión social y dimensión ambiental, para determinar sus pesos; se continúa con el procedimiento, una vez que se ha encontrado el vector de pesos, se siguen comparando los subcriterios dentro de cada dimensión. El AHP, es uno de los métodos discretos de más uso en la priorización de criterios, subcriterios e indicadores (Díaz-Balteiro et al., 2017; Roy y Słowiński, 2013; Gómez-Limón y Sánchez-Fernández, 2009).

### **4.3.4 Normalización de subcriterios**

Los subcriterios se normalizaron, con el fin de ajustar los valores originales medidos en diferentes escalas, frente a una escala común, se utilizó el método de máximos y mínimos, el cual consiste en traer todos los valores en el rango de [0,1], normalización basada en la unidad como se observó en las ecuaciones 3.1 y 3.2.

### 4.3.5 Obtención de indicadores

Una vez priorizados y normalizados los subcriterios (variables) en cada una de las dimensiones, se procedió a calcular los indicadores de sostenibilidad económico-financiera, técnica, social y ambiental, como lo expresan las ecuaciones: 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6, respectivamente, para finalmente y según la ecuación 3.7, determinar el indicador integral de sostenibilidad en lechería especializada IISLE. Los resultados se presentan en el capítulo 5 de esta investigación.

### 4.3.6 Análisis estadístico de indicadores

A los indicadores obtenidos en cada una de las dimensiones, se les realizó un análisis estadístico de correlación, contrastando cada uno de los indicadores de sostenibilidad y el indicador integral de sostenibilidad IISLE, con el fin de determinar cuál(es) de esta(s) dimensión(es) explica(n) o presenta(n) una relación más directa con el resultado del IISLE. El coeficiente de correlación comúnmente se denomina medida angular, debido a su interpretación geométrica, el más popular es el coeficiente de *Pearson*, el cuál determina el grado de correlación o asociación lineal entre casos (Díaz M., 2007). Finalmente, un análisis de clúster para las alternativas permitió determinar posibles agrupaciones de acuerdo con similitudes y/o diferencias. Los métodos conglomerados, como son llamados los *clúster*, debido a que se forman grupos de manera aglomerativa o por un proceso de *división*, con los procedimientos aglomerativos cada uno de los objetos empieza formando un conglomerado (grupos unitarios), ese así, como grupos cercanos se mezclan sucesivamente hasta que todos los objetos quedan dentro de un mismo conglomerado o clúster. Los métodos de división inician con todos los objetos dentro de un mismo clúster, este es dividido luego en dos grupos, estos a su vez en otros dos hasta que cada objeto llega a ser un conglomerado (Díaz M., 2007). Los análisis estadísticos se realizaron en el lenguaje y ambiente para cálculos estadísticos R (*R Development Core Team, 2019*).

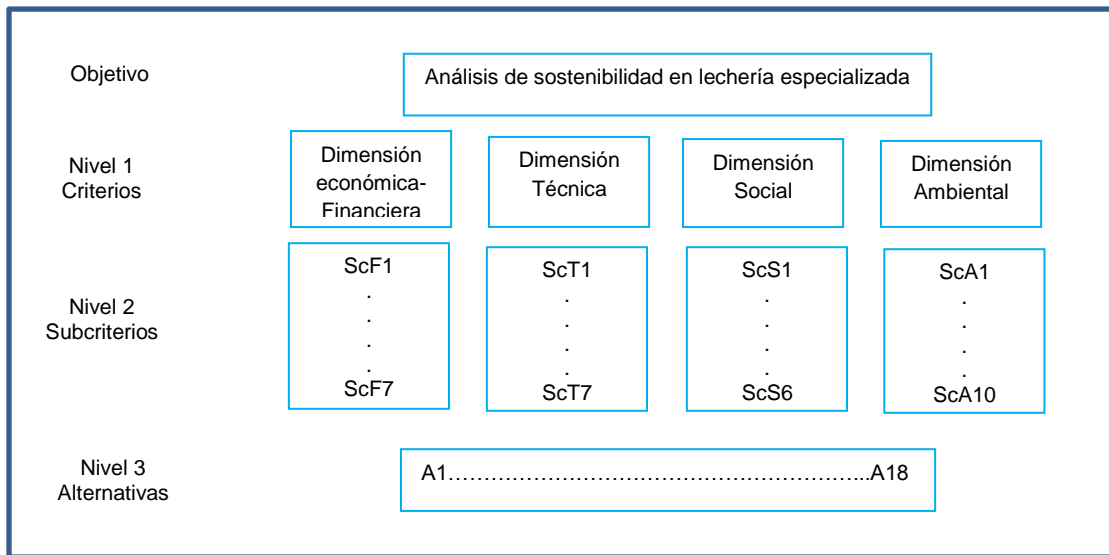
## 4.4 Aplicación de métodos multicriterio

Con los subcriterios de sostenibilidad económico-financieros, técnicos, sociales y ambientales, priorizados según el método AHP, para el cálculo del indicador integral, se procedió a evaluar cada una de las alternativas seleccionadas en este estudio, con los métodos multicriterio AHP, TOPSIS y VIKOR.

#### 4.4.1 Proceso analítico jerárquico

En concertación con los expertos evaluadores, se llegó a la estructura jerárquica de la figura 4-3

**Figura 4-3:** Estructura jerárquica en el análisis de sostenibilidad.



Fuente: Elaboración propia

Con los vectores de pesos calculados en la ponderación de dimensiones y subcriterios con AHP, se determinó el ranquin de alternativas de acuerdo con el procedimiento resumido en la figura 3-1. Los resultados obtenidos con la aplicación del método AHP, se presentan en el capítulo 5.

#### 4.4.2 Técnica para el orden de preferencia por similitud a solución ideal

Con los vectores de pesos calculados en la priorización de dimensiones y subcriterios utilizando el método AHP, se aplicó el procedimiento ya descrito en el capítulo 1 y resumido en la figura 3-2. Se determinó una solución con la distancia más corta a la solución positiva ideal (ecuación 1.4) y la distancia más larga a la solución negativa ideal (ecuación 1.5). El principio básico del TOPSIS es que la mejor alternativa debería tener la menor distancia a la solución positiva ideal (PIS) y la mayor distancia a la solución negativa ideal (NIS).

### **4.4.3 Método de optimización multidisciplinar y solución de compromiso**

Para la aplicación del método VIKOR, se utilizaron los vectores de pesos calculados en la ponderación de dimensiones y subcriterios con AHP, posteriormente se continuó con el procedimiento indicado en la figura 3.3 y detallado en el capítulo 1 de este documento. A partir de la métrica calculada según la ecuación 1.9, se obtienen dos listas  $S_i$  (ecuación 1.12) y  $R_i$  (ecuación 1.13) y a partir de éstas se obtiene la tercera lista  $Q_i$  (ecuación 1.14). El resultado esperado es una lista ordenada de cada una de las combinaciones, indicando las mejores alternativas según preferencia del decisor.

### **4.4.4 Análisis de correlación entre métodos multicriterio**

Se realizó un análisis de correlación con el fin de determinar el grado de asociación entre los resultados obtenidos con la aplicación de los métodos AHP, TOPSIS y VIKOR.

## **4.5 Contraste entre el indicador integral y los métodos multicriterio aplicados.**

Con el fin de contrastar los resultados obtenidos con el modelo de indicador integral IISLE y los métodos multicriterio aplicados en este estudio, se realizó un análisis estadístico, determinando el coeficiente de correlación  $Y$  de Pearson, entre AHP, TOPSIS, VIKOR e IISLE, se procede aplicando la ecuación 3.8.





## 5. Resultados y discusión

### 5.1 Implementación del modelo de indicador integral de sostenibilidad

En esta investigación se propuso contrastar un modelo de indicador integral y la aplicación de métodos de decisión multicriterio, con el fin de determinar entre varias alternativas de sistemas de producción lechería especializada, aquella más sostenible económico-financiera, técnica, social y ambientalmente.

#### 5.1.1 Priorización de dimensiones y subcriterios

En la tabla 5-1, se presenta la matriz de comparación normalizada entre dimensiones, según los resultados de la priorización con el método AHP.

**Tabla 5-1:** Matriz de comparación normalizada entre dimensiones

DIMENSION	Económica-Financiera	Técnica	Social	Ambiental	Ponderación
<b>Económica-Financiera</b>	0,46	0,50	0,43	0,43	0,45
<b>Técnica</b>	0,23	0,25	0,29	0,29	0,26
<b>Social</b>	0,15	0,13	0,14	0,14	0,14
<b>Ambiental</b>	0,15	0,13	0,14	0,14	0,14
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	

Con un índice de consistencia  $IC = 0,003452979$  (ecuación 1.1); un índice de aleatoriedad  $IA = 0,9$  de acuerdo con el tamaño de la muestra, es decir, 18; para una tasa de consistencia  $TC = 0,003836643 < 0,1$  (ecuación 1.2). Con un procedimiento igual, el cual se presenta en el anexo B, tabla B-2, se determinó la ponderación de subcriterios.

La tabla 5-2, recoge los resultados de los pesos para las dimensiones y subcriterios. Los resultados de la tabla muestran como la dimensión económica-financiera presenta mayor importancia con un peso de 45,5%, seguido por la dimensión técnica con un valor de 26,3% y finalmente las dimensiones social y ambiental con un valor de 14,1%. Con una relación de consistencia de  $0,038 < 0,1$ . En el contexto donde se desarrollan los sistemas de producción lechería especializada, lo más común, según las propias vivencias con los productores y en contraste con algunos estudios, es encontrar que lo técnico es más relevante, respecto a lo económico, sin embargo, los valores obtenidos en este estudio se pueden justificar en que sólo un 40% de los expertos evaluadores, tenían un interés particular en estos sistemas productivos, lo que puede llevar a que los resultados se sesguen un poco.

Estudios similares realizados en Costa Rica por Murillo et al., (2004b), utilizando el método de priorización ranqueo completo, determinaron los siguientes valores dimensión social y ecológica 21%, dimensión técnica 26% y dimensión económica 32%, estos valores coinciden en cuanto al orden de priorización en las cuatro dimensiones y al valor en la dimensión técnica, con los observados en este estudio. Por su parte, en un estudio llevado a cabo en Holanda, Van Calker et al., (2008), acudiendo al juicio de expertos conformado por diferentes grupos objetivo los cuales reportaron 26,4% para la dimensión ambiental, 30,6% en la dimensión económica y un 43% para la dimensión social.

Por otro lado, la investigación realizada por Arias-Reverón et al., (2012) en Costa Rica, aplicando el método de ranqueo completo, obtuvo los siguientes resultados: 36% dimensión técnica, 25% dimensión económica, 24% dimensión ecológica y 15% dimensión social; estos valores difieren a los obtenidos en este estudio, respecto a lo económico, lo técnico y lo ambiental. Así mismo, Gómez-Limón y Sánchez-Fernández (2010), establecieron los siguientes pesos de forma arbitraria según las dimensiones: social 37%, económica 33% y ambiental 30%. Ruiz et al., (2018), aplicando el método Delphi consideraron los siguientes pesos: dimensión técnica (29%), dimensiones económica y ambiental (24%) y para la dimensión social (23%). Estudios realizados en Perú por Mathios, (2019) consideró de acuerdo al juicio de expertos 50% para la dimensión económica, 33% dimensión social y 17% para la dimensión ambiental.

**Tabla 5-2:** Priorización de dimensiones y subcriterios

Dimensiones	Subcriterios	Nivel 1 (criterios)	Nivel 2 (subcriterios)	Valor propio (peso)	% (peso)	Posición
<b>Económica-Financiera</b>	ScF1	0,4547	0,2055	0,0934	9,34	1
	ScF2		0,1483	0,0674	6,74	3
	ScF3		0,1202	0,0546	5,46	7
	ScF4		0,1202	0,0546	5,46	7
	ScF5		0,1738	0,0790	7,90	2
	ScF6		0,1209	0,0549	5,49	6
	ScF7		0,1110	0,0504	5,04	8
<b>Técnica</b>	ScT1	0,2630	0,1820	0,0478	4,78	9
	ScT2		0,2242	0,0589	5,89	5
	ScT3		0,2242	0,0589	5,89	5
	ScT4		0,0747	0,0196	1,96	15
	ScT5		0,1169	0,0307	3,07	11
	ScT6		0,1024	0,0269	2,69	13
	ScT7		0,0756	0,0199	1,99	14
<b>Social</b>	ScS1	0,1411	0,4574	0,0645	6,45	4
	ScS2		0,1956	0,0276	2,76	12
	ScS3		0,1180	0,0166	1,66	18
	ScS4		0,1180	0,0166	1,66	18
	ScS5		0,0555	0,0078	0,78	23
	ScS6		0,0555	0,0078	0,78	23
<b>Ambiental</b>	ScA1	0,1411	0,2695	0,0380	3,80	10
	ScA2		0,1378	0,0194	1,94	16
	ScA3		0,1019	0,0144	1,44	19
	ScA4		0,0982	0,0138	1,38	20
	ScA5		0,1227	0,0173	1,73	17
	ScA6		0,0666	0,0094	0,94	22
	ScA7		0,0826	0,0116	1,16	21
	ScA8		0,0398	0,0056	0,56	25
	ScA9		0,0398	0,0056	0,56	25
	ScA10		0,0410	0,0058	0,58	24

Fuente: Elaboración propia cálculos AHP

Según lo observado por diferentes estudios, nos permite concluir, que la amplia variedad de enfoques metodológicos para la ponderación y la agregación introduce subjetividad y, a menudo, incertidumbre; por lo que cada investigación prioriza de acuerdo con su caso específico. Al respecto Rowley, Peters, Lundie, & Moore, (2012) mencionan, que es importante seleccionar un enfoque que sea coherente con las necesidades de información del responsable de la toma de decisiones, pero los tomadores de decisiones disponen de escasa orientación práctica sobre cómo hacerlo.

Asimismo, y respecto a la dimensión económica-financiera, el subcriterio de mayor peso es la producción promedio vaca/ día (ScF1), seguido por la rentabilidad (ScF5) y en la tercera posición el costo de producción por litro de leche (ScF2), estos resultados coinciden

con lo encontrado por (Mathios, 2019), en lo que se refiere a ScF1 y ScF2. Estos resultados permiten concluir que, en los sistemas de producción de leche, lo más representativo es evaluar los costos de producción, frente a una determinada producción total de leche, que depende de factores como la raza de los animales, el mejoramiento de pasturas, el clima, entre otros factores, con el fin de optimizar los recursos, en función de alcanzar mejores rentabilidades. A nivel técnico el intervalo entre partos (ScT2) y los días abiertos (ScT3), se presentan como los subcriterios con mayor peso. Estos parámetros han sido considerados de mayor importancia para evaluar la eficiencia productiva y reproductiva de los animales en producción en estos sistemas productivos. En lo social, el subcriterio con mayor peso es calidad de vida (ScS), coincidiendo este resultado con lo encontrado por (Mathios, 2019). Con respecto al subcriterio calidad de vida, estudios realizados por Pérez B., Velásquez A. & Arboleda Z., (2020), analizando la calidad de vida de trabajadores en los sistemas de producción lechería especializada, encontraron que la percepción de satisfacción está determinada por las garantías que el propietario ofrece a los empleados y a su grupo familiar, representadas por el acceso al Sistema General de Seguridad Social en Salud, transporte propio y garantía de educación para los hijos. Respecto a lo ambiental, la protección y conservación de fuentes de agua (ScA1) es el de mayor importancia. En estos sistemas de producción, es común el desplazamiento de los animales para beber agua, cerca de fuentes hídricas, provocando contaminación por excretas.

### 5.1.2 Indicador integral de sostenibilidad en lechería especializada

#### IISLE

La tabla 5-3, resume los resultados de los indicadores de sostenibilidad económico-financiera, técnica, social y ambiental, así como el indicador integral para cada uno de los sistemas de producción lechería especializada (alternativas) en análisis.

**Tabla 5-3:** Indicadores de sostenibilidad en sistemas de producción lechería especializada.

HATOS	ISDF	ISDT	ISDS	ISDA	IISLE
A1	0,16349	0,45384	0,75150	0,67097	0,39448
A2	0,76713	0,88460	0,73198	0,31409	0,72913
A3	0,13502	0,57010	0,38071	0,61141	0,35138
A4	0,55707	0,49826	0,09482	0,32621	0,44378
A5	0,43295	0,55563	0,29942	0,51603	0,45810

**Tabla 5-3:** (Continuación)

HATOS	ISDF	ISDT	ISDS	ISDA	IISLE
<b>A6</b>	0,44934	0,59458	0,35126	0,61281	0,49677
<b>A7</b>	0,68636	0,71836	0,76308	0,43512	0,67015
<b>A8</b>	0,53851	0,73492	0,62921	0,39921	0,58332
<b>A9</b>	0,66183	0,57295	0,51916	0,62036	0,61246
<b>A10</b>	0,83206	0,49715	0,48348	0,24244	0,61154
<b>A11</b>	0,83495	0,53985	0,58166	0,42584	0,66383
<b>A12</b>	0,86325	0,47041	0,58988	0,63550	0,68919
<b>A13</b>	0,41815	0,54417	0,58988	0,62513	0,50475
<b>A14</b>	0,39904	0,58814	0,83810	0,57325	0,53534
<b>A15</b>	0,45441	0,77293	0,32980	0,75251	0,56269
<b>A16</b>	0,72854	0,40350	0,39323	0,60777	0,57867
<b>A17</b>	0,66158	0,50363	0,51652	0,49089	0,57547
<b>A18</b>	0,64389	0,42896	0,43786	0,73225	0,57074

Fuente: Elaboración propia

Analizando los valores de los indicadores de sostenibilidad que se observan en la tabla 5-3, se establece que el nivel de los indicadores de sostenibilidad va de 0,0 a 1,0, siendo aquellos valores cercanos a 0,0 correspondientes a los sistemas de producción de leche con mínimo nivel de sostenibilidad y consecuentemente, los valores cercanos a 1,0 coincide con aquellos sistemas de producción con niveles óptimos de sostenibilidad. Los niveles de los indicadores de sostenibilidad promedio de los hatos en las distintas dimensiones fueron muy similares entre sí: (0,57) para los indicadores económico-financiero y el técnico, seguidos por lo ambiental (0,54) y por último lo social con (0,52). Los resultados son similares en lo económico-financiero y ambiental con lo encontrado por (Murillo et al., 2004b), donde lo económico tuvo un promedio de (0,58) y lo ecológico de (0,56). Sin embargo, difieren con respecto a lo social con un valor mayor (0,78) y en lo técnico con (0,49). Al comparar los resultados promedios de este estudio con los reportados por (Pérez et al., 2002) se encontró similitud en lo social donde el índice fue de (0,49), y una gran diferencia respecto a lo económico con (0,35) y lo ambiental con (0,26).

Se observa, además, que el 61% de los sistemas de producción de leche analizados, presenta un nivel del ISDF por encima de (0,5) y de estos el 45,5% arroja valores por encima de (0,7). Aproximadamente un 67% de los sistemas de producción, presentan niveles del ISDT por encima de (0,5) y de ellos, un 33% con valores por encima de (0,7).

De igual manera, el 55,5% de los sistemas de producción estudiadas, muestra valores del ISDS por encima de (0,5). Con respecto al ISDA, el 61% de los sistemas de producción, presenta valores por encima de (0,5) y sólo en un 18% de éstos, se observan valores por encima de (0,7). Observando los valores del IISLE, se ve como el 72% de los sistemas de producción en estudio, presentan niveles de sostenibilidad integral por encima de (0,5) y aproximadamente, un 18% arrojó valores de este indicador por debajo de (0,4). El mayor valor del IISLE, fue para el sistema productivo A2 (mediano (26-50 animales en producción) de la raza Holstein con BPG), con (0,73). De acuerdo con Barrios, Restrepo & Cerón, (2020), representado por la mayoría de sistemas de producción de leche en el tropico alto de Antioquia. En Colombia, la gran mayoría de los sistemas de producción de lechería especializada, se caracterizan por ser hatos entre pequeños y medianos, principalmente animales de la raza Holstein, con promedios de producción de leche entre 12 -15 Lt/vaca-día, fincas con alto uso de fertilizantes, concentrados y suplementación alimenticia, lo que hace que sean explotaciones con altos costos de producción, lo que se ve reflejado en sistemas productivos pocos sostenibles y con baja competitividad ante mercados externos (Carulla & Ortega, 2016).

Seguido por A12 (grande de la raza Jersey sin BPG) con (0,69). La raza Jersey se ha venido promoviendo gracias a sus bondades productivos, se considera de gran rentabilidad, ya que cuenta con alto índice de conversión de pasto a leche, por la calidad de la leche en cuanto a mayor contenido de grasa y proteína, adicional a esto y como característica de resaltar, es un animal de menor volumen y peso, lo cual le permite desplazarse causando poco daño sobre las pasturas (AsoJersey, 2020). Es una raza con mayor productividad, ya que su menor tamaño y su gran capacidad de conversión, hacen de esta raza la mejor opción para los productores lecheros, el promedio de producción de leche a 305 días en nuestro país es de 5.000 litros, con una media en producción de grasa de 4.5%, proteína 3.63% y solidos totales de 13.67%, encontrando animales con lactancias promedio terminadas de más de 7.600 litros con una media de producción diaria superior a 25 litros (AsoJersey, 2020). En la actualidad la calidad de la leche Jersey, está siendo reconocida por la industria procesadora y pauterizadora debido a su alto contenido de grasa, proteína y solidos totales. Estos máximos valores de IISLE son similares a lo observado por (Arias-Reverón et al., 2012) cuyo valor máximo es de (0,70) y (Murillo et al., 2004b) donde los valores máximos son de (0,69) y (0,64).

En la tabla 5-3, se observa como la alternativa A2, que muestra el mayor valor respecto al indicador integral IISLE, este sistema productivo se corresponde con el mayor valor de ISDT, determinado principalmente por presentar la mejor producción de litros/animal/día, un intervalo entre partos 7% por encima del nivel óptimo, un valor óptimo en días abiertos y una relación leche/concentrado igual a 4,0; con respecto al ISDF, es el cuarto mejor valor, dado principalmente por la mayor producción de leche por animal/año, un bajo costo de producción por litro de leche, relación B/C por encima de uno y un valor aceptable de rentabilidad. Presenta un buen valor de ISDS y el valor más bajo respecto al ISDA. Todas estas características hacen que la A2 sea la más sostenible integralmente.

La segunda alternativa respecto a la asignación del indicador IISLE, es la A12, corresponde a la mejor alternativa respecto al ISDF, ya que presenta el mayor margen de utilidad y la mayor rentabilidad, así como un bajo costo de producción por litro de leche, esta es una de las alternativas con bajo resultado en los criterios técnicos. Asimismo, se puede concluir según los resultados, que el sistema de producción de leche menos sostenible integralmente es la A3, ya que presenta el valor más bajo de ISDF, dado por un alto costo de producción por litro de leche, el hato con menos producción de leche por animal/año, una relación B/C muy por debajo de 1 y unos parámetros técnicos poco satisfactorios para su buen desempeño.

Es importante anotar que el indicador integral de sostenibilidad en lechería especializada IISLE, está muy influenciado por subcriterios económico-financieros y técnicos y que características como tamaño del hato en cuanto a número de animales en producción, tipo de raza, y el certificado de Buenas Prácticas Ganaderas ejercen poca influencia en el IISLE, según los resultados de la tabla.

### **5.1.3 Análisis estadístico de indicadores**

#### **Análisis de correlación entre indicadores de sostenibilidad**

En la tabla 5-4, se presenta el análisis de correlaciones simples, entre los indicadores de sostenibilidad.

**Tabla 5-4:** Análisis de correlaciones simple

	IISLE	ISDF	ISDT	ISDS	ISDA
IISLE	1.0000000	0.9077941	0.8514290	0.3925047	0.3329239
ISDF	0.9077941	1.0000000	0.7341841	0.0372521	0.1945129
ISDT	0.8514290	0.7341841	1.0000000	0.1791089	0.0710286
ISDS	0.3925047	0.0372521	0.1791089	1.0000000	0.3086635
ISDA	0.3329239	0.1945129	0.0710286	0.3086635	1.0000000

Fuente: Elaboración propia

Estas correlaciones simples no proporcionan información acerca de cuál de las variables es más importante según el ranquin, por lo tanto, hay que recurrir a las correlaciones parciales, las cuales se muestran en la tabla 5-5

**Tabla 5-5:** Análisis de correlaciones parciales

	IISLE	ISDF	ISDT	ISDS	ISDA
IISLE	0	1	1	1	1
ISDF	1	0	-1	-1	-1
ISDT	1	-1	0	-1	-1
ISDS	1	-1	-1	0	-1
ISDA	1	-1	-1	-1	0

Fuente: Elaboración propia

Estas correlaciones parciales nos permiten concluir que, las cuatro variables explicativas (ISDF, ISDT, ISDS e ISDA), presentan igual nivel de importancia ya que, el valor de todas es 1, por lo tanto, las cuatro variables son importantes para explicar el indicador de sostenibilidad integral.

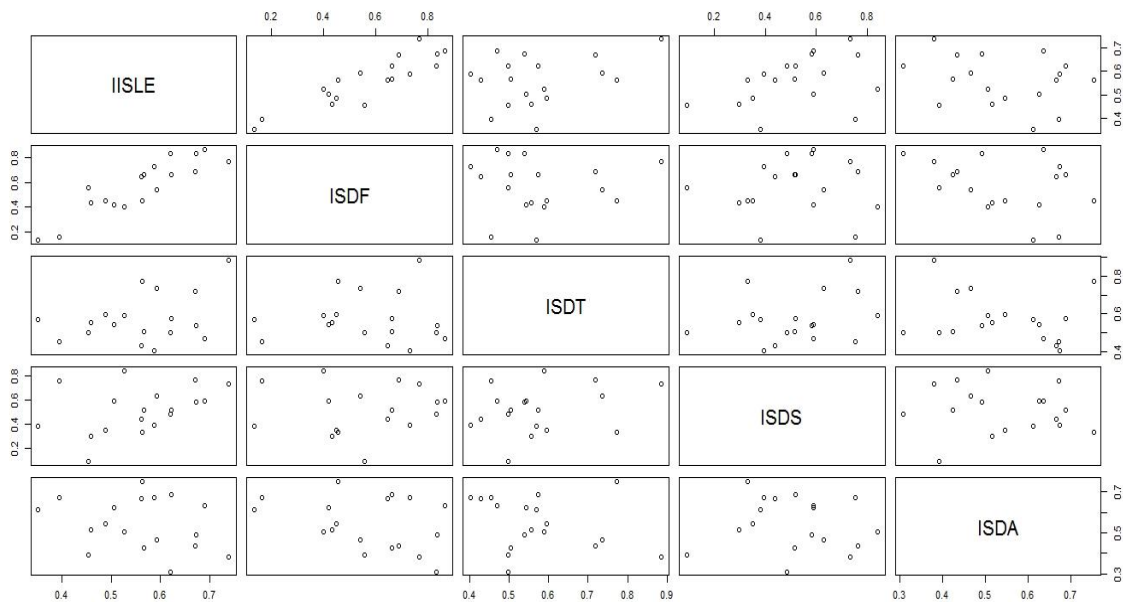
En la figura 5-1, se observa el grado de correlación entre los indicadores de sostenibilidad y el indicador integrado.

Se observa según la figura, una relación lineal creciente entre ISDF e IISLE, lo que explica que, a mayor indicador de sostenibilidad financiera, se obtiene un mayor valor del indicador integral, pasa lo mismo entre ISDT e IISLE; no es tan lineal entre ISDS e ISDA con IISLE,



ya que, a más dispersión entre los puntos, menor es la intensidad de relación entre la variable respuesta IISLE y las variables explicativas, es decir, más pequeña es la correlación. Observando las correlaciones simples de la tabla 5-4, se puede corroborar este comportamiento. Sin embargo, según el resultado de las correlaciones parciales (tabla 5-5), que para las cuatro variables explicativas es 1, se concluye que las cuatro variables presentan igual nivel de importancia para explicar el indicador integral de sostenibilidad.

**Figura 5-1:** Análisis de correlación entre indicadores de sostenibilidad



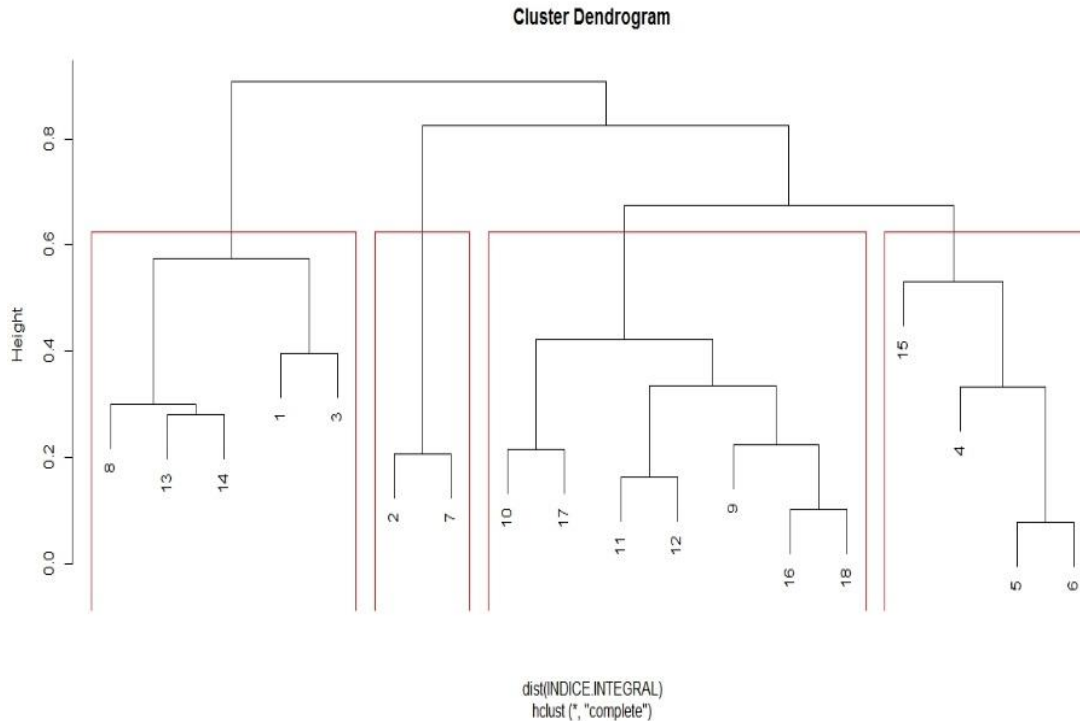
Fuente: Análisis de correlación R Project

### Análisis de clúster para las alternativas

De acuerdo con la base de agrupación del análisis de *clúster* (AC), en la figura 5-2, y respecto al indicador integral de sostenibilidad IISLE, se generan 4 grupos: el *clúster* 1 agrupa los sistemas de producción de leche A8, A13, A14, A1 y A3. El sistema de producción A8, presenta muy buen desempeño a nivel técnico, representado en parámetros como: buena producción vaca/año, aceptable intervalo entre partos, así como días abiertos; es el quinto mejor hato en el ISDS; con respecto a criterios financieros, presenta un valor medio debido a su costo de producción y una baja rentabilidad por animal. Los sistemas de producción A13 y A14, presentan valores similares de ISDF e

ISDT, bajos respecto al valor promedio de los hatos. Los sistemas productivos A1 y A3, presentan los valores más bajos del indicador integral de sostenibilidad, se caracterizan por ser poco sostenibles financiera y técnicamente.

**Figura 5-2:** Análisis de clúster entre sistemas de producción de leche



Fuente: Análisis de clúster con R Project

En el *clúster 2*, se agrupan los sistemas de producción A2, y A7, los dos sistemas productivos, se consideran los más sostenibles en las cuatro dimensiones financiera, técnica, social y ambiental, el sistema productivo A2, es el más sostenible según el resultado del IISLE y el sistema productivo A7, ocupa la tercera posición superado por A12 sólo en la dimensión financiera. Un tercer *clúster* agrupa los sistemas de producción A10, A17, A11, A12, A9, A16 y A18; los sistemas productivos A10, A11 y A12 son los más sostenibles financieramente, puesto que presentan alta producción de leche/vaca/día, bajo costo de producción y la mejor relación B/C, esto los pone en las posiciones 6, 4 y 2 respectivamente, en el indicador de sostenibilidad IISLE, con un desempeño similar a estos, se encuentra el sistema de producción A9, el cual ocupa la posición 5 respecto a la sostenibilidad integral. Los sistemas de producción A16, A17 y A18, presentan buen

desempeño financiero y un IISLE que está 3% por encima del promedio de todos los sistemas productivos.

El último y cuarto *clúster* conformado por los sistemas de producción de leche A15, A4, A5 y A6, presentan valores por debajo del promedio de los hatos en sostenibilidad financiera, valores satisfactorios respecto a sostenibilidad técnica; los sistemas productivos A6, A5 y A4, ocupan los lugares 14, 15 y 16 respectivamente, en el indicador integral IISLE.

## 5.2 Aplicación de métodos multicriterio

En la aplicación de los métodos multicriterio AHP, TOPSIS y VIKOR, se retomaron los resultados de la priorización de dimensiones y subcriterios (tabla 5-2), utilizados para el cálculo del indicador integral.

### 5.2.1 Proceso analítico jerárquico

En la tabla 5-6, se presenta la matriz de comparación con la calificación definitiva de alternativas y en el anexo B, tabla B-3, se detallan las matrices de comparación y los resultados de la aplicación del método.

**Tabla 5-6:** Matriz de comparación entre alternativas, calificación final

Alternativas	Dimensiones				Calificación final ponderada
	Económica-Financiera	Técnica	Social	Ambiental	
<b>A1</b>	0,03	0,05	0,05	0,04	3,8%
<b>A2</b>	0,08	0,06	0,07	0,06	6,8%
<b>A3</b>	0,04	0,04	0,05	0,04	4,0%
<b>A4</b>	0,03	0,06	0,02	0,04	4,0%
<b>A5</b>	0,04	0,06	0,03	0,06	4,4%
<b>A6</b>	0,05	0,06	0,04	0,07	5,1%
<b>A7</b>	0,05	0,05	0,08	0,05	5,2%
<b>A8</b>	0,05	0,04	0,06	0,05	4,8%
<b>A9</b>	0,07	0,05	0,06	0,07	6,4%
<b>A10</b>	0,07	0,07	0,06	0,05	6,3%
<b>A11</b>	0,06	0,06	0,07	0,05	6,2%
<b>A12</b>	0,12	0,07	0,06	0,07	9,2%
<b>A13</b>	0,05	0,06	0,05	0,07	5,4%
<b>A14</b>	0,05	0,05	0,09	0,05	5,6%
<b>A15</b>	0,06	0,03	0,06	0,07	5,4%
<b>A16</b>	0,05	0,07	0,06	0,06	5,9%
<b>A17</b>	0,06	0,07	0,04	0,04	5,6%
<b>A18</b>	0,06	0,07	0,05	0,06	6,2%
<b>PESOS</b>	<b>45,5%</b>	<b>26,3%</b>	<b>14,1%</b>	<b>14,1%</b>	<b>100,0%</b>

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.2 Técnica para el orden de preferencia por similitud a la solución ideal

La tabla 5-7, presenta los valores de las distancias PIS y NIS, y el coeficiente de cercanía (CC) para cada una de las alternativas según la ecuación 1.8. En el anexo B, tabla B-4 se detallan las matrices de comparaciones obtenidas con la aplicación del método.

**Tabla 5-7:** Distancias y coeficiente de cercanía por alternativas

Alternativas	Distancia PIS	Distancia NIS	CC
A1	0,07830	0,02959	0,72577
A2	0,02284	0,08048	0,22109
A3	0,08747	0,02396	0,78500
A4	0,05338	0,04571	0,53871
A5	0,05968	0,03776	0,61249
A6	0,06055	0,03778	0,61576
A7	0,04101	0,05797	0,41433
A8	0,04978	0,04893	0,50433
A9	0,03860	0,06080	0,38834
A10	0,02319	0,08418	0,21600
A12	0,01802	0,09035	0,16632
A11	0,03438	0,06970	0,33035
A13	0,06467	0,03651	0,63913
A14	0,06449	0,03527	0,64644
A15	0,05649	0,04405	0,56187
A16	0,04474	0,05589	0,44462
A17	0,04949	0,04934	0,50075
A18	0,04687	0,05318	0,46847

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3 Método de optimización multidisciplinar y solución de compromiso

En la tabla 5-8, se muestran los tres parámetros  $S_i$ ,  $R_i$  y  $Q_i$ , para cada una de las alternativas. Las diferentes matrices y los demás resultados de la aplicación del procedimiento se presentan en el anexo B, tabla B-5.

**Tabla 5-8:** Parámetros  $S_i$ ,  $R_i$  y  $Q_i$ 

Alternativas	$S_i$	$R_i$	$Q_i$
A1	0,60552	0,09342	1,00000
A2	0,31081	0,04459	0,19165
A3	0,64862	0,07904	0,94679
A4	0,55622	0,06456	0,69030
A5	0,54190	0,05151	0,56221
A6	0,50323	0,05525	0,53502
A7	0,32985	0,04885	0,22362
A8	0,41668	0,04842	0,34983
A9	0,38754	0,05007	0,31980
A10	0,38846	0,04842	0,30766
A11	0,33617	0,04842	0,19756
A12	0,27087	0,03228	0,10069
A13	0,49525	0,05897	0,55349
A14	0,46466	0,05904	0,50835
A15	0,43731	0,06456	0,51263
A16	0,42133	0,05897	0,44305
A17	0,42453	0,05679	0,43000
A18	0,42926	0,05728	0,44111

Fuente: *Elaboración propia*

La alternativa que presente el menor valor en Q será la más sostenible, es decir, la solución de compromiso y debe satisfacer dos condiciones, para este caso es la alternativa A12:

a) Ventaja aceptable:  $Q(A^{(2)}=0,19165) - Q(A^{(1)}=0,10069) = 0,09096 \geq DQ = 1/(18-1) = 0,0588$ . Condición que se satisface.

b) La alternativa  $A^{(1)}$  deberá ser también la mejor en las listas de S y/o R. Esta condición también se satisface, ya que según la tabla 5-8, la alternativa A12, es la que presenta el menor valor en Q, en S y en R.

### 5.2.4 Ranquin de alternativas según métodos aplicados

A partir de los valores observados en las tablas 5-6, 5-7 y 5-8, se estructura el ranquin de alternativas correspondiente a cada uno de los métodos aplicados. La tabla 5-9, resume los valores que dan lugar al ranquin de alternativas de acuerdo con la aplicación de los métodos AHP, TOPSIS y VIKOR.

**Tabla 5-9:** Ranquin de alternativas según métodos

Métodos Parámetros Alternativas	AHP		TOPSIS		VIKOR			
	%	Ranquin	CC	Ranquin	Si	Ri	Q	Ranquin
<b>A1</b>	3,8%	14	0,726	17	0,606	0,093	1,000	18
<b>A2</b>	6,8%	2	0,221	3	0,311	0,045	0,192	2
<b>A3</b>	4,0%	13	0,785	18	0,649	0,079	0,947	17
<b>A4</b>	4,0%	13	0,539	11	0,556	0,065	0,690	16
<b>A5</b>	4,4%	12	0,612	13	0,542	0,052	0,562	15
<b>A6</b>	5,1%	10	0,616	14	0,503	0,055	0,535	13
<b>A7</b>	5,2%	9	0,414	4	0,330	0,049	0,224	4
<b>A8</b>	4,8%	11	0,504	10	0,417	0,048	0,350	7
<b>A9</b>	6,4%	3	0,388	5	0,388	0,050	0,320	6
<b>A10</b>	6,3%	4	0,216	2	0,388	0,048	0,308	5
<b>A11</b>	6,2%	5	0,330	4	0,336	0,048	0,197	3
<b>A12</b>	9,2%	1	0,166	1	0,271	0,032	0,101	1
<b>A13</b>	5,4%	8	0,639	15	0,495	0,059	0,553	14
<b>A14</b>	5,6%	7	0,646	16	0,465	0,059	0,508	11
<b>A15</b>	5,4%	8	0,562	12	0,437	0,065	0,513	12
<b>A16</b>	5,9%	6	0,445	7	0,421	0,059	0,443	10
<b>A17</b>	5,6%	7	0,501	9	0,425	0,057	0,430	9
<b>A18</b>	6,2%	5	0,468	8	0,429	0,057	0,441	8

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5-9, se presentan los resultados finales. Se puede observar, que el sistema de lechería especializada, grande de acuerdo al número de animales en producción y bovinos de la raza Jersey y CBPG (A12), es según los tres métodos AHP, TOPSIS y VIKOR, la alternativa más sostenible, este sistema productivo se caracteriza por presentar dentro de la dimensión económica-financiera, la mayor rentabilidad, la segunda mejor relación B/C, y margen de utilidad, siendo los demás subcriterios (producción promedia vaca/año, costo de producción por litro de leche, punto de equilibrio), favorables. De acuerdo con lo observado y discutido en el indicador de sostenibilidad IISLE, este sistema productivo se corresponde con un hato grande de la raza Jersey, esta raza, cuenta con unas características de rentabilidad y productividad que la han posicionada como una de las razas más apetecidas por los productores de leche según AsoJersey, (2020).

En la segunda posición de nivel de sostenibilidad y de acuerdo a la asignación de los métodos AHP y VIKOR, aparece la alternativa A2, que corresponde al sistema de lechería mediano, de la raza Holstein y CBPG, las características a destacar de este sistema productivo son: mayor producción de leche por vaca/año, bajo costo de producción por litro de leche y resultados satisfactorios respecto a los demás subcriterios económico-financieros y subcriterios técnicos; es importante anotar, que las características de este sistema productivo, muy representativo en el medio del trópico alto, ya se han discutido en el indicador integral de sostenibilidad. Mientras que, según los resultados del método TOPSIS, la segunda posición la ocupa el sistema productivo pequeño de la raza Jersey y SBPG y que corresponde a la alternativa A10, con características muy similares a la alternativa A2, como: bajo costo de producción, buena rentabilidad, buena relación B/C y demás subcriterios económico-financieros dentro del rango aceptable al igual que los parámetros técnicos y ambientales.

Así mismo, se puede inferir que las alternativas A1 y A3 (sistemas productivos pequeño y grande de la raza Holstein CBPG), los tres métodos evaluados, asignaron las últimas posiciones, se corresponden con aquellas que presentan un costo de producción alto por litro de leche, presenta los mayores costos de producción por animal / año, así como un margen de utilidad y una rentabilidad muy negativos, la relación B/C está por debajo de 1; igualmente estas finca cuenta con unos parámetros técnicos muy poco satisfactorios. De acuerdo con el estudio de Carulla & Ortega, (2016), estos sistemas productivos, representan la gran mayoría de productores de leche en Colombia, con bajo nivel de sostenibilidad y poco competitivos en mercados internacionales, como ya se había mencionado en la discusión del indicador integral de sostenibilidad.

Es importante resaltar, que la causa por la que distintos métodos no obtienen el mismo resultado para un mismo problema, como en el caso estudiado, se debe a que, en ocasiones, los parámetros evaluados en las alternativas son muy similares y están próximas entre sí. Por lo tanto, cada método puede asignar un ranquin distinto para una misma alternativa, dependiendo las funciones que realice y como consecuencia, variando el orden en el ranquin final de un método a otro y no existe un procedimiento con el cual se pueda confrontar los resultados (Ferreira, Borenstein, & Santi, 2016).

Por otra parte, y según lo reportado por Diaz-Balteiro et al., (2017), son numerosas las investigaciones que se han llevado a cabo aplicando una gran cantidad de métodos de decisión multicriterio para analizar problemas de sostenibilidad. Sin embargo, no existe un estudio similar a nivel de sistemas de producción de lechería especializada, donde se analice la sostenibilidad bajo las dimensiones económica-financiera, técnica, social y ambiental, comparando y combinando los métodos AHP, TOPSIS y VIKOR, para poder comparar los resultados encontrados en este estudio.

### 5.2.5 Comparación entre métodos multicriterio

Los resultados obtenidos con la aplicación de los métodos AHP, TOPSIS y VIKOR, se confrontaron entre sí mediante un análisis de varianza, con el fin de determinar el grado de correlación. En la figura 5-3 se observa una alta correlación lineal inversa de TOPSIS y VIKOR con AHP. Según este análisis, no existe diferencia significativa en los resultados obtenidos al aplicar los métodos multicriterio utilizados para determinar la sostenibilidad en este estudio en particular, ya que de acuerdo con la tabla 5-10, la mayoría de los resultados coinciden en los tres métodos.

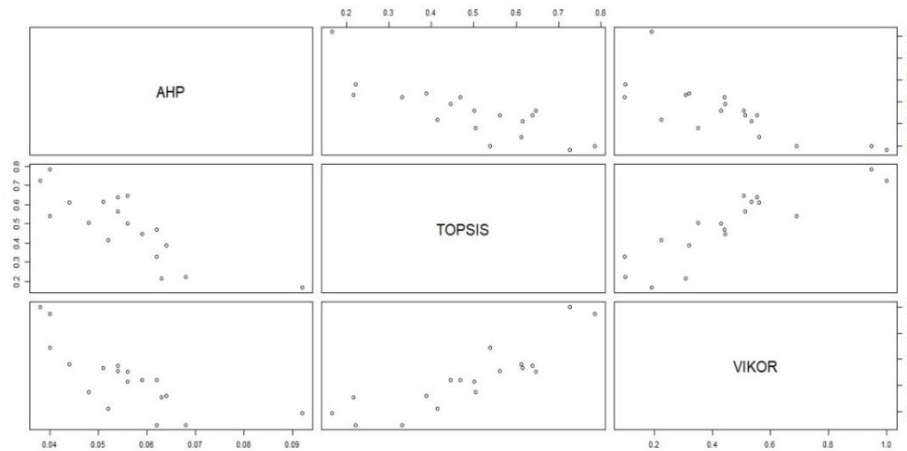
**Tabla 5-10:** Coeficientes de correlaciones entre AHP, TOPSIS y VIKOR

	AHP	TOPSIS	VIKOR
AHP	1.0000000	-0.8188336	-0.7413414
TOPSIS	-0.8188336	1.0000000	0.8654111
VIKOR	-0.7413414	0.8654111	1.0000000

Elaboración propia

**Figura 5-3:** Análisis de correlación entre métodos multicriterio





Fuente: Análisis de correlación en R Project

### 5.3 Análisis de contraste entre IISLE y los métodos AHP, TOPSIS y VIKOR

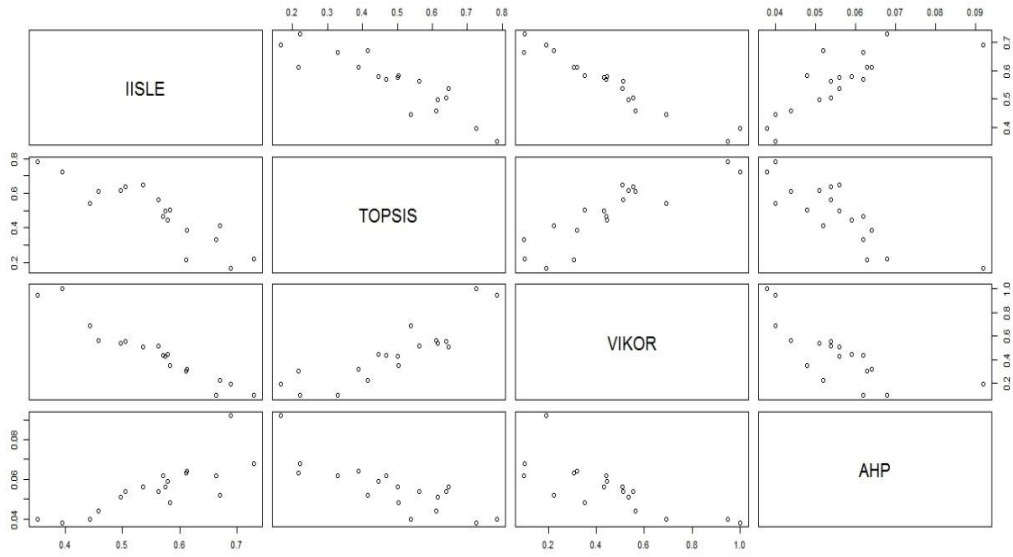
El análisis de correlación que se muestra en la tabla 5-11, permitió comparar la estabilidad de los resultados respecto a al análisis de la sostenibilidad con el modelo de indicador integral y los métodos multicriterio aplicados en este estudio. La figura 5-4, muestra el nivel de correlación entre estos cuatro métodos.

**Tabla 5-11:** Coeficientes de correlaciones Pearson

	IISLE	TOPSIS	VIKOR	AHP
IISLE	1.0000000	-0.8891638	-0.9640597	0.7910206
TOPSIS	-0.8891638	1.0000000	0.8654111	-0.8188336
VIKOR	-0.9640597	0.8654111	1.0000000	-0.7413414
AHP	0.7910206	-0.8188336	-0.7413414	1.0000000

Fuente: Elaboración propia

**Figura 5-4:** Coeficiente de correlación de Pearson



Fuente: Análisis de correlación en R Project

Al observar la figura 5-4, se concluye que existe una fuerte relación lineal entre los resultados obtenidos con la aplicación del modelo de indicador integral IISLE y los métodos multicriterio seleccionados para este estudio. De acuerdo con la tabla 5-11, todos los  $\gamma$  valores se encuentran por encima de  $\pm 0.7$ .

En este contexto, los métodos analizados convergen en soluciones similares e indican que tanto los métodos multicriterio como el indicador integral de sostenibilidad, constituyen una herramienta poderosa de planificación y control para analizar los sistemas de producción de leche respecto a dimensiones económica-financiera, técnica, social y ambiental, con el fin de permitirle al productor, tomar decisiones respecto a niveles de sostenibilidad y competitividad de este.



## 6. Conclusiones y recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

Los sistemas de producción lechería especializada en el Área de estudio, están conformados básicamente por pequeños y medianos productores:

- 26 animales en producción
- Producción promedia de 17 litros/leche/día,
- Costos de producción/litro de leche \$1000, por debajo del promedio nacional según FEDEGAN (2018).
- Precios pagados al productor por litro de leche en promedio no superan los \$1000.
- Cuentan un nivel tecnológico medio, dado principalmente por presentar salas de ordeño elementales, tanque de almacenamiento de leche, alimentación suplementada.
- En 70% de los SPBL, existe relevo generacional.
- En general cuentan con poco acompañamiento por parte de instituciones gubernamentales y muy pocas posibilidades de acceder a créditos.
- El análisis de sostenibilidad debe establecer prioridades en donde los ingresos netos del productor deben ser lo más importante y por supuesto la valorización de su predio en función del tiempo.

La sostenibilidad es un término muy controvertido, que ha sido utilizado extensamente por diversos investigadores en muchos estudios a nivel del sector agropecuario, la mayoría de estos estudios la enmarcan bajo tres dimensiones: económica, ecológica y social, y utilizan varias metodologías para su análisis, desde modelos de simulación, indicadores integrales o agregados, métodos multicriterio, entre otros, que de manera confiable han sido aplicados, con buenos resultados y gran aporte al conocimiento.

La implementación de un modelo de indicador integral de sostenibilidad para la toma de decisiones se ha convertido en una herramienta poderosa en el análisis de diversos sistemas productivos. En este estudio y con el fin de medir la sostenibilidad en sistemas de producción bovinos de leche, se propuso un modelo de indicador de sostenibilidad, integrando dimensiones financieros, técnicos, sociales y ambientales.

La utilización de métodos de decisión multicriterio para analizar problemas de sostenibilidad hoy día ha tomado gran relevancia. Sin embargo, cada vez el número de métodos y herramientas de toma de decisiones disponibles aumenta continuamente y muy pocos estudios que se han dedicado a evaluar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, presentan una clara justificación para elegir un método MCDM sobre otro. Por lo que, muchos autores recomiendan utilizar varios métodos para un mismo problema de decisión. En esta investigación se aplicaron los métodos AHP, TOPSIS y VIKOR, para identificar dentro de varias alternativas de sistema de producción de leche, aquella con el mejor nivel de sostenibilidad.

En este estudio, el método AHP considerando las respuestas de los expertos, y mediante el análisis jerárquico aportó la ponderación indicada a dimensiones y subcriterios, a fin de disminuir en parte la subjetividad de los juicios, además, con el análisis de consistencia que tiene en cuenta el método, permite obtener mayor seguridad en los resultados. El método AHP, también se aplicó para determinar la alternativa con mayor nivel de sostenibilidad.

Los resultados del modelo de Indicador Integral IISLE, se contrastaron con los resultados obtenidos con los métodos multicriterio AHP, TOPSIS y VIKOR, respecto a la clasificación de alternativas, se encontró alta consistencia. Estos resultados permiten concluir bajo este contexto, que tanto la implementación del modelo de indicadores integrales como la aplicación de métodos multicriterio, constituyen una herramienta poderosa de medición de la sostenibilidad en el análisis de sistemas productivos, con el fin de tomar decisiones frente a su competitividad.

Con estos análisis de sostenibilidad a los sistemas de producción de lechería especializada, fue posible considerar y centrar la atención en las diversas y complejas situaciones (clima, precios de insumos, tasa de cambio, etc.) a las que se debe enfrentar

el pequeño y mediano productor, así mismo, la posibilidad de diseñar y establecer criterios, subcriterios e indicadores prácticos y objetivos capaces de caracterizar su nivel sostenibilidad y competitividad. Y principalmente, fue capaz de identificar los elementos críticos de la sostenibilidad en estos sistemas productivos, considerando que esta es su más importante y tradicional actividad económica. Convirtiéndose esta propuesta en una herramienta útil de planeación y control en la toma de decisiones para su gestión.

Gestionar herramientas de planificación y control para desarrollar sistemas de producción pecuaria con altos niveles de sostenibilidad y competitividad, no es una tarea fácil, debido a la gran cantidad de factores involucrados, seres vivos, recursos naturales, bienestar animal, calidad de vida de productores y su familia, entre otros. Es así como las estrategias deben considerar múltiples criterios y subcriterios, en donde el modelo de indicador integral contrastado con técnicas de decisión multicriterio, se convierten en instrumentos de gran relevancia.

## 6.2 Recomendaciones

- Se hace necesario fortalecer el desarrollo sostenible en ganadería especializada, de pequeños y medianos productores, implementando herramientas de planificación y control que permitan al productor ser más eficientes, competitivos y sostenibles en el uso de los recursos. Por eso es conveniente que los actores involucrados (gobierno, instituciones públicas y privadas, consumidores, proveedores y productores), se comprometan y contribuyan de manera conjunta a apoyar y fortalecer no solo las condiciones económicas, técnicas y sociales de los productores, sino también el uso y la conservación de los recursos naturales de las fincas.
- Se recomienda para futuras investigaciones relacionadas con este estudio, aplicar este modelo a sistemas de producción de lechería especializada ubicados en otras regiones de Colombia y así poder comparar los resultados, de tal manera que pueda ser posible establecer los niveles de sostenibilidad y competitividad en otras alternativas con similares características de tamaño, económicas, técnicas, sociales y ambientales.

- Considerando el gran impacto ambiental que ha caracterizado los sistemas de producción ganadera, convirtiéndolos en sistemas productivos costosos, poco rentables y poco amigables con el medio ambiente, debido principalmente al deterioro de los suelos, deforestación, contaminación de fuentes hídricas, deterioro de la capa de ozono y el calentamiento global, entre otros impactos. Se hace necesario para futuras investigaciones, replantear la priorización de las dimensiones financiera, técnica, social y ambiental y asimismo, proponer un juicio con expertos que califiquen de manera más coherente y apropiada con la realidad ambiental en que se desarrollan estos sistemas productivos.
- Ampliar el estudio introduciendo otros métodos, ya que según Diaz-Balteiro, et al., (2018) y Diaz-Balteiro et al., (2017), son numerosas las técnicas MCDM empleadas para abordar los aspectos de sostenibilidad, por lo que se podrían comparar entre otros, los métodos TOPSIS, ELECTRE, AHP y MAUT, reportados como de alta utilización en estudios de sostenibilidad. De esta manera se podría, avanzar en investigaciones que permitan obtener resultados que fortalezcan la toma de decisiones con el fin de poder seleccionar el método más adecuado para resolver problemas de sostenibilidad.
- La propuesta implementada en este estudio no constituye un trabajo completamente terminado, y como tal, esta novedosa herramienta permitirá los ajustes y observaciones necesarias para en un futuro emprender investigaciones similares en otros sistemas productivos agropecuarios.

### **Alcances y limitaciones del modelo propuesto**

El modelo propuesto en esta investigación resulta una herramienta poderosa e interesante para medir la sostenibilidad y comparar alternativas de sistemas de producción en lechería especializada, permitiendo incorporar subcriterios en las dimensiones económica-financiera, técnica, social y ambiental.

Sin embargo, se debe tener claro que los resultados alcanzados dependen en su totalidad de las dimensiones y los subcriterios seleccionados y utilizados para medir el nivel de



sostenibilidad en este caso particular. Sería muy interesante plantearse cuáles serían los posibles resultados si los subcriterios fueran otros.

Con la aplicación de los métodos multicriterio AHP, TOPSIS y VIKOR, para analizar un mismo problema de sostenibilidad en lechería especializada, se consigue obtener resultados muy satisfactorios y con una gran coincidencia entre ellos. Sin embargo, existe la posibilidad dada la amplia cantidad de métodos multicriterio que se han utilizado para problemas de sostenibilidad (Diaz-Balteiro et al, 2017), comparar otros métodos diferentes.

Otra limitación en la implementación de los métodos multicriterio es que, al ordenar el ranking de alternativas presentadas, aparecen como óptimas aquellas que resultaron ser mejores en las dimensiones económica-financiera y técnica dentro del grupo evaluado, pudiendo existir, lo más probable otras que no fueron consideradas en este estudio. Por ello, para que los métodos utilizados optimicen realmente el objetivo de sostenibilidad, debe asegurarse que queden involucradas todas las alternativas posibles existentes.

La necesidad de tomar la decisión de aplicar el muestreo no probabilístico por conveniencia, dado las características detalladas de información necesaria para realizar la investigación y que muy pocos productores contaban con ella, por lo que, se consideraron sólo aquellos productores con la información completa y dispuestos a compartirla.

En la construcción y selección de dimensiones, indicadores y subcriterios, se contó con la participación de los productores y su entorno familiar, además con técnicos con un gran conocimiento en estos sistemas productivos. Sin embargo, no fue posible reunir a todos los actores involucrados ya que, algunos manifestaron sentir temor a hablar, confiar poco en el tipo de talleres realizados y a no disponer de tiempo para estas actividades.

### **Futuras investigaciones:**

Teniendo en cuenta estas recomendaciones y las conclusiones establecidas, es posible considerar líneas de investigación futuras, con el fin de seguir avanzando en el conocimiento y fortalecimiento de estos sistemas productivos y de la sostenibilidad, entre las que se proponen:

- Realizar mediciones de los subcriterios en diferentes períodos, que permitan evaluar la evolución en el tiempo e identificar tendencias en los niveles de sostenibilidad, en estos y otros sistemas productivos.
- Tener la posibilidad de considerar otros subcriterios potenciales tanto a nivel ambiental como social, que han sido propuestos en otros estudios por investigadores como Ripoll-Bosch, et al., (2012); Fumagalli, et al., (2011) y Riechmann, (2003).
- Fortalecer la participación activa, de todos los actores involucrados con estos sistemas productivos, en el diseño, evaluación y ponderación de dimensiones, subcriterios e indicadores, para poder abarcar completamente sus necesidades y apreciaciones.

# A. Anexo: Entrevista semiestructurada

## ENTREVISTA SEMI-ESTRUCTURADA PARA EL ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD EN LECHERÍA ESPECIALIZADA

Fecha: \_\_\_\_\_ Municipio \_\_\_\_\_ Vereda \_\_\_\_\_  
 Tipo de Sistema productivo (intensivo / extensivo)

### 1. ASPECTOS GENERALES

1.2 Hato número \_\_\_\_\_, Nombre \_\_\_\_\_

1.3 Propietario \_\_\_\_\_

1.4 El informante es: 1.4.1 ( ) Dueño 1.4.2 ( ) Administrador 1.4.3 ( ) Mayordomo 1.4.5 ( )

Arrendador 1.4.6 Si es arrendador cuanto paga / mes \_\_\_\_\_ 1.4.7 ( ) Otro. Cuál \_\_\_\_\_

1.5 Área total: \_\_\_\_\_ 1.6 Área en praderas \_\_\_\_\_ 1.7 Otros Usos cuáles \_\_\_\_\_

1.8 N° total animales \_\_ 1.9 Animales en producción \_\_ 1.10 Cría \_\_ 1.11 Novillas\_\_ 1.10 Raza\_\_

### 2. PARAMETROS TECNICOS

2.1 Litros vaca/día \_\_\_\_\_ 2.2 Kilos forraje/ha \_\_\_\_\_ 2.3 Capacidad Carga (Cabezas/ha) \_\_\_\_\_

2.4 N° promedios partos hato /año \_\_ 2.5 Relación Leche/Concentrado \_\_\_\_\_ 2.6 BPG \_\_\_\_\_

2.7 Intervalo entre partos \_\_\_\_\_ 2.8 Duración lactancia \_\_\_\_\_ 2.9 Días abiertos \_\_\_\_\_

2.10 Tasa Natalidad \_\_ 2.11 Certificación Hato libre de tuberculosis, brucelosis, aftosa y rabia\_\_

### 3. PARAMETROS ECONOMICOS / FINANCIEROS

3.1 Producción promedia leche lts /año:

2016 \_\_\_\_\_ 2017 \_\_\_\_\_ 2018 \_\_\_\_\_

3.2 Precio venta promedio \$/lt

2016 \_\_\_\_\_ 2017 \_\_\_\_\_ 2018 \_\_\_\_\_

3.3 Costos de Producción

3.3.1 Materias Primas / Materiales / Insumos (AÑO)

Tipo de recurso	Presentación comercial	Cantidad año	Valor comercial A la fecha	Periodicidad de compra	Utilización
• Materias primas					

• Materiales / Insumos					

3.3.2 Mano de Obra Permanente \_\_\_\_\_ Salario mensual \_\_\_\_\_

3.3.3 Mano Obra Ocasional \_\_\_\_\_ Valor Jornal \_\_\_\_\_ Mano de obra familiar \_\_\_\_\_

Actividad	Nº jornales	Costo total /año	Tipo de Mano de Obra

3.3.4 Recursos / Bienes duraderos (BD)

Identificación del recurso (BD)	Cantidad	Valor comercial actual	Vida útil actual	Características técnicas	Utilización (tiempo / año)
• No depreciables					
• Depreciables					
• Amortizables					
• Agotables					
• Diferibles					

## 3.3.5 Estados Financieros

2016 \_\_\_\_\_ 2017 \_\_\_\_\_ 2018 \_\_\_\_\_

**4. PARAMETROS SOCIALES**

4.1 Evaluación de Calidad de Vida para un productor lechero de acuerdo y en proporción al número de necesidades satisfechas y al grado de bienestar que las personas puedan alcanzar (escala de percepción).

Características	Atributo	Índice	Calificación
Nivel Educativo	No tiene	1	BUENA Puntos 12 - 9
	Primaria	2	
	Bachillerato	3	
	Técnico	4	
	Profesional	5	
Nivel Tecnológico	Artesanal	1	REGULAR Puntos 8 - 5
	Medio	2	
	Alto	3	
Acceso a Servicios Sociales	Malo	1	MALA Puntos 4 - 1
	Regular	2	
	Bueno	3	

4.2 Evaluación del acceso al mercado para los productores de leche cruda (escala de percepción)

Características	Índice	Escala	Calificación
Precio competitivo poco satisfactorio	1	2 - 1	Malo
Alto costo de transporte planta-finca-planta	1		
Precio competitivo medianamente satisfactorio	2	4 - 3	Regular
Costo medio de transporte planta-finca-planta	2		
Precio competitivo satisfactorio	3	6 - 5	Bueno
Bajo costo de transporte planta-finca-planta	3		

4.3 Cuantas visitas / año tiene de asistencia técnica \_\_\_\_\_

4.4 Organizaciones de las cuales hace parte \_\_\_\_\_

4.5 Consenso social, nivel de relación entre productores (escala de percepción)

Características	Índice	Calificación
Flujo de información suficiente	3	BUENA Puntos 9 - 7
Asociación de productores buena	3	
No existe conflicto de interés entre productores	3	
Flujo de información medianamente suficiente	2	REGULAR Puntos 6 - 3
Asociación de productores regular	2	
Existe poco conflicto de interés entre productores	2	
Flujo de información insuficiente	1	MALA Puntos 2 - 1
Asociación de productores mala	1	
No existe flujo de información	0	NO EXISTE Puntos 0
No existe asociación de productores	0	
Existe conflicto de interés entre productores	0	

4.6 Evaluación de Apoyo Institucional: cómo ve el apoyo de las instituciones gubernamentales (Colanta, Asoholstein, Asojersey, Fedegan, Corpoica, ICA, UMATA, etc.) para la producción y comercialización de la leche. (Escala de percepción)

Características	Índice	Calificación
Compromiso gobierno es suficiente	3	BUENA Puntos 12 - 9
Compromiso Colanta / Asoholstein/ Asojersey/ Fedegan es suficiente	3	
Se toma en cuenta la opinión de los productores en las decisiones	3	
CORPOICA realiza suficiente seguimiento y evaluación del pago de la leche	3	
Compromiso gobierno es insuficiente	2	REGULAR Puntos 8 - 5
Compromiso Colanta / Asoholstein/ Asojersey/ Fedegan es insuficiente	2	
Se toma poco en cuenta la opinión de los productores en las decisiones	2	
CORPOICA realiza insuficiente seguimiento y evaluación del pago de la leche	2	
No existe compromiso del gobierno	1	MALA Puntos 4 - 1
No existe compromiso de Colanta / Asoholstein/ Asojersey/ Fedegan	1	
No se toma en cuenta la opinión de productores en las decisiones	1	
CORPOICA no realiza seguimiento y evaluación del pago de la leche	1	

4.7 Evaluación de las facilidades de Acceso a Crédito (escala de percepción)

Características	Atributo	Índice	Calificación
Historial crediticio	Tiene crédito	2	BUENA Puntos 8 - 6
	No tiene	1	
Requisitos y/o garantías	Bueno	3	REGULAR Puntos 5 - 3
	Regular	2	
	Malo	1	
Entidades con programas de créditos especiales	Suficientes	3	MALA Puntos 2 - 1
	Insuficientes	2	
	No hay	1	

4.8 Grado de satisfacción del recurso humano empleado (escala de percepción)

Características	Atributo	Índice	Calificación
Estabilidad Laboral	Vinculado	2	BUENA Puntos 7 - 5
	Ocasional	1	
Salario y Prestaciones	Bueno	3	REGULAR Puntos 4 - 3
	Regular	2	
	Malo	1	
Programa de Salud Ocupacional	Si	2	MALA Puntos 2 - 1
	No	1	

4.9

Relevo generacional	Si	1
	No	0

## 5. PARAMETROS AMBIENTALES

- 5.1 Tiempo establecimiento Pradera \_\_\_\_\_ 5.2 Tipo de Pasto (especie) \_\_\_\_\_
- 5.3 N° y área de cada potrero \_\_\_\_\_ 5.4 Período de Ocupación \_\_\_\_\_
- 5.5 Período de descanso \_\_\_\_\_ 5.6 Capacidad de carga \_\_\_\_\_ 5.7 Erosión \_\_\_\_\_
- 5.8 Prácticas de manejo de praderas:
- 5.8.1 Fertilización ( ) 5.8.2 Control malezas ( ) 5.8.3 Control plagas ( ) 5.8.4 Preparación mecánica suelo ( ) 5.8.5 Construcción de cercos (madera) ( )
- 5.9 Uso de agroquímicos (Kg. /ha) en praderas \_\_\_\_\_
- 5.10 Uso de prácticas de conservación del suelo:
- 5.10.1 Abono orgánico ( ) 5.10.2 Cercas vivas ( ) 5.10.3 Otro ( ) Cuál \_\_\_\_\_
- 5.11 Uso de agroquímicos (Kg. /animal) en el manejo de animales \_\_\_\_\_
- 5.12 Tratamiento de excretas \_\_\_\_\_
- 5.13 Fuente de agua propia \_\_\_\_\_ 5.14 Calidad de agua \_\_\_\_\_
- 5.15 Protección fuentes de agua (existencia bosque) \_\_\_\_\_
- 5.16 Destino aguas residuales tanque de almacenamiento y sala de ordeño \_\_\_\_\_
- 5.17 Densidad de Lombrices:

Nº muestra	Nº lombrices	Nº muestra	Nº lombrices	Nº muestra	Nº lombrices

- 5.18 Compactación del suelo:

Nº muestra	Profundidad (cm.)	Nº muestra	Profundidad (cm.)	Nº muestra	Profundidad (cm.)





## B. Anexo: Información para aplicación de Métodos

Tabla B-1: información primaria por sistema de producción de leche

CRITERIOS	SUBCRITERIOS	HATOS								
		P (A1) CBPG	M (A2) CBPG	G (A3) CBPG	P (A4) SBPG	M (A5) SBPG	G (A6) SBPG	P (A7) CBPG	M(A8) CBPG	G (A9) CBPG
	Área total (ha.)	26	8	32	8	9	20	9	19	82
	Área potreros (ha.)	13	6	31	6	8	16	8	10	55
	Otros usos (ha.)	13	2	1	2	1	4	1	9	27
	Total animales	46	41	126	25	39	112	28	71	115
	Animales pxn	21	29	60	20	31	59	22	28	67
	Levante	15	11	51	3	6	41	3	37	35
	Horros	5	1	15	2	2	12	3	6	13
	Valor Activos (\$)	336.600.000	135.850.000	351.150.000	268.700.000	467.400.000	310.185.000	139.100.000	260.600.000	499.000.000
	Valor Activos/animal pxn (\$)	16.028.571	4.684.483	5.852.500	13.435.000	15.077.419	5.257.373	6.322.727	9.307.143	7.447.761
TECNICOS	Lt vaca/día	11	26,3	16	20,2	18	17,8	18,3	20	18,1
	kg forraje/ha	16.180	16.700	16.050	16.500	16.100	18.150	22.100	17.700	20.650
	UGG/ha	1,62	4,83	1,94	3,33	3,88	3,69	2,75	2,80	1,22
	Partos hato/año	20	40	64	13	10	36	20	24	45
	RI leche/concentrado	3	4	3,3	4	4,5	3,8	4	4	4
	Intervalo entre partos (días)	447	410	442	412	382	387	425	427	465
	Duración lactancia (días)	387	350	382	354	310	314	332	331	392
	Días abiertos	160	104	164	162	156	128	117	119	165
	Tasa natalidad (%)	82	89	82	89	96	90	95	85	81
	Buenas Prácticas Ganaderas	1	1	1	0	0	0	1	1	1
	Certif. tuberc y brucel; aftosa y rab.	2	2	2	1	1	1	2	2	2



Tabla B-1: información primaria por hato (Continuación)

CRITERIOS	SUBCRITERIOS	FINCAS								
		P (A10) SBPG	M (A11) SBPG	G (A12) SBPG	P (A13) CBPG	M (A14) CBPG	G (A15) CBPG	P (A16) SBPG	M (A17) SBPG	G (A18) SBPG
	Área total (ha)	12	28	56	14	26	37	32	40	170
	Área potreros (ha)	10	17	39	12	20	34	10	40	60
	Otros usos (ha)	2	11	17	2	6	3	22	0	110
	Total animales	46	31	93	53	87	139	35	62	155
	Animales pxn	26	28	63	25	47	64	16	44	70
	Levante	16	11	23	25	32	58	8	0	53
	Horros	4	0	7	3	8	17	11	18	32
	Valor Activos (\$)	86.100.000	266.190.000	207.075.000	91.770.000	280.300.000	217.280.000	179.565.000	333.660.000	448.440.000
	Valor Activos/animal pxn (\$)	3.311.538	9.506.786	3.286.905	3.670.800	5.963.830	3.395.000	11.222.813	7.583.182	6.406.286
TECNICOS	Lt vaca/día	22,7	22	21,2	18	17,2	18,5	18	17	18
	kg forraje/ha	18.250	22.200	18.700	15.100	15.800	19.300	16.240	20.280	18.700
	UGG/ha	2,60	1,65	1,62	2,08	2,35	1,88	1,60	1,10	1,17
	Partos hato/año	18	21	42	16	39	87	9	44	70
	Rl leche/concentrado	4,2	4,2	3,7	3,5	4	3,8	4	4,5	4,5
	Intervalo entre partos (días)	443	433	395	391	452	405	521	390	430
	Duración lactancia (días)	381	372	336	321	382	332	305	307	327
	Días abiertos	160	145	172	209	160	133	110	184	206
	Tasa natalidad (%)	82	85	80	92	81	90	70	93	84
	Buenas Prácticas Ganaderas (BPG)	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Certif. tuberc y brucel; aftosa y rabia	1	1	0	2	2	2	1	1	1	
FINANCIEROS	Pxn promedia/año/animal	8.286	8.030	7.738	6.570	6.278	6.753	6.570	6.205	6.570
	Precio promedio (\$/Lt)	960	975	1.050	985	970	1.050	920	918	953
	Costos totales pxn (\$/año)	161.613.967	161.943.952	387.394.332	176.000.354	324.805.674	467.998.113	82.409.269	232.066.227	403.741.551
	Costo total/animal pxn (\$)	6.215.922	5.783.713	6.149.116	7.040.014	6.910.759	7.312.471	5.150.579	5.274.232	5.767.736
	Costo litro leche (\$)	750	720	795	1.072	1.101	1.083	784	850	878
	Relación B/C	1,28	1,35	1,32	0,92	0,88	0,97	1,17	1,08	1,09
	Margen Bruto (\$)	1.738.158	2.045.537	1.975.784	-568.564	-821.099	-222.346	893.821	421.958	493.474
	Punto de Equilibrio (lt/año/animal)	6.475	5.932	5.856	7.147	7.124	6.964	5.598	5.745	6.052
	Rentabilidad	0,52	0,22	0,60	-0,15	-0,14	-0,07	0,08	0,06	0,08
	Margen Seguridad	0,28	0,35	0,32	-0,08	-0,12	-0,03	0,17	0,08	0,09



**Tabla B-2:** Priorización de subcriterios método AHP

Subcriterios Financieros								P	P'	D
	Pxn promedia/vaca	Costo \$/lt	Relación B/C	MBU	Rentab	Punto de Equilibrio	Costo Total			
Pxn prom/vaca	1	1	2	2	2	2	1	20,5%	1,535	7,4716
Costo \$/lt	1	1	1	1	1	2	1	14,8%	1,121	7,5570
Rel B/C	0,5	1	1	1	1	1	1	12,0%	0,897	7,4636
MBU	0,5	1	1	1	1	1	1	12,0%	0,897	7,4636
Rentabilidad	0,5	1	1	1	1	3	3	17,4%	1,361	7,8295
PdeE	0,5	0,5	1	1	0,333333333	1	3	12,1%	0,929	7,6846
Costo Total	1	1	1	1	0,333333333	0,333333	1	11,1%	0,803	7,2386
<b>SUMA</b>	<b>5,000</b>	<b>6,500</b>	<b>8,000</b>	<b>8,000</b>	<b>6,667</b>	<b>10,333</b>	<b>11,000</b>	100,0%		<b>7,5298</b> $\lambda_{max}$
Matriz de comparaciones normalizada								P		
	Pxn promedia	Costo \$/lt	Rel B/C	MBU	Rentabilidad	PdeE	Costo Total			
Pxn promedia	0,2	0,15384615	0,25	0,25	0,3	0,193548	0,0909091	0,2055		
Costo \$/lt	0,2	0,15384615	0,125	0,125	0,15	0,193548	0,0909091	0,1483		
Rel B/C	0,1	0,15384615	0,125	0,125	0,15	0,096774	0,0909091	0,1202		
MBU	0,1	0,15384615	0,125	0,125	0,15	0,096774	0,0909091	0,1202		
Rentabilidad	0,1	0,15384615	0,125	0,125	0,15	0,290323	0,2727273	0,1738		
PdeE	0,1	0,07692308	0,125	0,125	0,05	0,096774	0,2727273	0,1209		
Costo Total	0,2	0,15384615	0,125	0,125	0,05	0,032258	0,0909091	0,1110		
<b>SUMA</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1,00</b>		
<b>IC</b>	<b>0,088296807</b>									
<b>IA</b>	<b>1,32</b>									
<b>CR</b>	<b>0,06689152 &lt; 0,1</b>									

Tabla B-2: (Continuación)

Subcriterios Técnicos								P	P'	D
	Lt vaca/día	Intervalo entre partos (d)	Días abiertos	Partos hato/año	Certif. tuberc y brucel.	BPG	Rel leche/[]			
Lt vaca/día	1	1	1	3	3	1	1	18,2%	1,383	7,6026
Intervalo entre partos (d)	1	1	1	3	3	3	3	22,4%	1,739	7,7595
Días abiertos	1	1	1	3	3	3	3	22,4%	1,739	7,7595
Partos hato/año	0,33333333	0,33333333	0,33333333	1	1	1	1	7,5%	0,580	7,7595
Certif. tuberc y brucel.	0,33333333	0,33333333	0,33333333	1	1	3	3	11,7%	0,936	8,0037
BPG	1	0,33333333	0,33333333	1	0,33333333	1	3	10,2%	0,774	7,5619
Rel leche/[]	1	0,33333333	0,33333333	1	0,33333333	0,33333	1	7,6%	0,555	7,3354
<b>SUMA</b>	<b>5,667</b>	<b>4,333</b>	<b>4,333</b>	<b>13,000</b>	<b>11,667</b>	<b>12,333</b>	<b>15,000</b>			<b>7,6832 λmax</b>
Matriz de comparaciones normalizada										
	Lt vaca/día	Intervalo entre partos (d)	Días abiertos	Partos hato/año	Certif. tuberc y brucel.	BPG	RI leche/[]	P		
Lt vaca/día	0,17647059	0,230769231	0,23076923	0,23076923	0,257142857	0,08108	0,06666667	0,1820		
Intervalo entre partos (d)	0,17647059	0,230769231	0,23076923	0,23076923	0,257142857	0,24324	0,2	0,2242		
Días abiertos	0,17647059	0,230769231	0,23076923	0,23076923	0,257142857	0,24324	0,2	0,2242		
Partos hato/año	0,05882353	0,076923077	0,07692308	0,07692308	0,085714286	0,08108	0,06666667	0,0747		
Certif. Tuberc y brucel.	0,05882353	0,076923077	0,07692308	0,07692308	0,085714286	0,24324	0,2	0,1169		
BPG	0,17647059	0,076923077	0,07692308	0,07692308	0,028571429	0,08108	0,2	0,1024		
Rel leche/[]	0,17647059	0,076923077	0,07692308	0,07692308	0,028571429	0,02703	0,06666667	0,0756		
<b>SUMA</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>			
<b>IC</b>	0,11386581	<b>CR</b>	0,08626198	<b>&lt; 0,10</b>						
<b>IA</b>	1,32									

Subcriterios Sociales							P	P'	D
	Calidad de Vida	Relevo Generacional	Consenso Social	Acceso al Mercado	Apoyo Institucional	Facilidad Acceso a Crédito			
Calidad de Vida	1	5	5	5	5	5	45,74%	3,170	6,9317
Relevo Generacional	0,2	1	3	3	3	3	19,56%	1,328	6,7880
Consenso Social	0,2	0,333333333	1	1	3	3	11,80%	0,726	6,1498
Acceso al Mercado	0,2	0,333333333	1	1	3	3	11,80%	0,726	6,1498
Apoyo Institucional	0,2	0,333333333	0,33333333	0,33333333	1	1	5,55%	0,346	6,2412
Facilidad Acceso a Crédito	0,2	0,333333333	0,33333333	0,33333333	1	1	5,55%	0,346	6,2412
<b>SUMA</b>	<b>2,000</b>	<b>7,333</b>	<b>10,667</b>	<b>10,667</b>	<b>16,000</b>	<b>16,000</b>			<b>6,4169</b> <i>λmax</i>
Matriz de comparación normalizada							P		
	Calidad de Vida	Relevo Generacional	Consenso Social	Acceso al Mercado	Apoyo Institucional	Facilidad Acceso a Crédito			
Calidad de Vida	0,5	0,681818182	0,46875	0,46875	0,3125	0,3125	0,4574		
Relevo Generacional	0,1	0,136363636	0,28125	0,28125	0,1875	0,1875	0,1956		
Consenso Social	0,1	0,045454545	0,09375	0,09375	0,1875	0,1875	0,1180		
Acceso al Mercado	0,1	0,045454545	0,09375	0,09375	0,1875	0,1875	0,1180		
Apoyo Institucional	0,1	0,045454545	0,03125	0,03125	0,0625	0,0625	0,0555		
Facilidad Acceso a Crédito	0,1	0,045454545	0,03125	0,03125	0,0625	0,0625	0,0555		
<b>SUMA</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>			
IC	0,08338883								
IA	1,24								
CR	0,06724906 < 0,10								

Subcriterios Ambientales											P	P'	D
	Protección fuentes de agua (ScA1)	Período Ocupación (días) (ScA2)	Período Descanso (días) (ScA3)	Capacidad Carga (ScA4)	Erosión (ScA5)	Uso plaguicidas (ScA6)	Prácticas Conserv. suelo(ScA7)	Tratamiento de excretas (ScA8)	Destino aguas residuales (ScA9)	Densidad de lombrices (ScA10)			
(ScA1)	1	5	5	3	3	5	1	5	5	5	26,9%	3,1498	11,6883
(ScA2)	0,2	1	1	3	3	3	1	3	3	3	13,8%	1,6007	11,6136
(ScA3)	0,2	1	1	1	1	3	1	3	3	3	10,2%	1,1590	11,3745
(ScA4)	0,33333333	0,33333333	1	1	1	3	1	3	3	3	9,8%	1,1030	11,2326
(ScA5)	0,33333333	0,33333333	1	1	1	5	1	5	5	3	12,3%	1,3955	11,3757
(ScA6)	0,2	0,33333333	0,33333333	0,33333333	0,2	1	1	3	3	3	6,7%	0,7024	10,5502
(ScA7)	1	0,33333333	1	1	1	1	1	1	1	1	8,3%	0,9081	10,9899
(ScA8)	0,2	0,33333333	0,33333333	0,33333333	0,2	0,33333333	1	1	1	1	4,0%	0,4166	10,4597
(ScA9)	0,2	0,33333333	0,33333333	0,33333333	0,2	0,33333333	1	1	1	1	4,0%	0,4166	10,4597
(ScA10)	0,2	0,33333333	0,33333333	0,33333333	0,33333333	0,33333333	1	1	1	1	4,1%	0,4330	10,5474
<b>SUMA</b>	<b>3,86666667</b>	<b>9,33333333</b>	<b>11,33333333</b>	<b>11,33333333</b>	<b>10,93333333</b>	<b>22</b>	<b>10</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>24</b>			<b>11,0292</b>
Matriz de comparaciones normalizada											P		
	Protección fuentes de agua	Período Ocupación (días)	Período Descanso (días)	Capacidad Carga	Erosión	Uso plaguicidas	Prácticas Conservación suelo	Tratamiento de excretas	Destino aguas residuales	Densidad de lombrices			
(ScA1)	0,25862069	0,535714286	0,441176471	0,264705882	0,274390244	0,227272727	0,1	0,192307692	0,192307692	0,208333333	0,2695		
(ScA2)	0,051724138	0,107142857	0,088235294	0,264705882	0,274390244	0,136363636	0,1	0,115384615	0,115384615	0,125	0,1378		
(ScA3)	0,051724138	0,107142857	0,088235294	0,088235294	0,091463415	0,136363636	0,1	0,115384615	0,115384615	0,125	0,1019		
(ScA4)	0,086206897	0,035714286	0,088235294	0,088235294	0,091463415	0,136363636	0,1	0,115384615	0,115384615	0,125	0,0982		
(ScA5)	0,086206897	0,035714286	0,088235294	0,088235294	0,091463415	0,227272727	0,1	0,192307692	0,192307692	0,125	0,1227		
(ScA6)	0,051724138	0,035714286	0,029411765	0,029411765	0,018292683	0,045454545	0,1	0,115384615	0,115384615	0,125	0,0666		
(ScA7)	0,25862069	0,035714286	0,088235294	0,088235294	0,091463415	0,045454545	0,1	0,038461538	0,038461538	0,041666667	0,0826		
(ScA8)	0,051724138	0,035714286	0,029411765	0,029411765	0,018292683	0,015151515	0,1	0,038461538	0,038461538	0,041666667	0,0398		
(ScA9)	0,051724138	0,035714286	0,029411765	0,029411765	0,018292683	0,015151515	0,1	0,038461538	0,038461538	0,041666667	0,0398		
(ScA10)	0,051724138	0,035714286	0,029411765	0,029411765	0,030487805	0,015151515	0,1	0,038461538	0,038461538	0,041666667	0,0410		
<b>SUMA</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>			
<b>IC</b>	<b>0,114350101 IA</b>		<b>1,49 CR</b>		<b>0,076745034 &lt; 0,10</b>								



**Tabla B-3:** Priorización de alternativas método AHP

Matriz de comparaciones entre alternativas respecto a criterios financieros																					
NIVEL 1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	VECTOR (P)	P'	D
A1	1,00	0,50	0,30	0,70	1,00	0,70	0,50	0,70	0,80	0,50	0,70	0,20	0,60	0,30	0,50	0,50	0,70	0,50	3,0%	0,55478	18,612
A2	2,00	1,00	2,00	1,50	2,00	1,50	1,50	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,50	2,00	7,5%	1,42202	18,891
A3	3,33	0,50	1,00	0,70	1,00	0,70	0,60	0,70	0,33	0,50	0,50	0,20	1,00	1,00	0,50	1,00	0,70	0,50	3,6%	0,68495	18,875
A4	1,43	0,67	1,43	1,00	1,00	0,50	1,00	0,40	0,50	0,70	0,70	0,25	1,00	0,20	0,66	0,50	0,50	0,70	3,5%	0,65326	18,683
A5	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,70	0,37	0,50	1,00	0,20	1,00	1,00	0,50	1,00	0,70	0,50	3,6%	0,67852	18,820
A6	1,43	0,67	1,43	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,70	0,70	0,25	1,00	1,00	0,66	1,00	1,00	1,00	4,5%	0,84942	18,813
A7	2,00	0,67	1,67	1,00	1,43	1,00	1,00	1,00	0,50	0,70	0,70	0,30	1,00	1,00	0,70	1,00	1,00	1,00	4,6%	0,86427	18,788
A8	1,43	0,67	1,43	2,50	1,43	1,00	1,00	1,00	0,50	0,70	0,70	0,30	1,00	1,00	0,70	1,00	1,00	1,00	4,7%	0,89105	18,850
A9	1,25	1,00	3,03	2,00	2,70	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	7,1%	1,35239	18,917
A10	2,00	1,00	2,00	1,43	2,00	1,43	1,43	1,43	1,00	1,00	1,00	0,40	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	6,6%	1,24611	18,862
A11	1,43	1,00	2,00	1,43	1,00	1,43	1,43	1,43	1,00	1,00	1,00	0,40	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	6,3%	1,19303	18,859
A12	5,00	1,00	5,00	4,00	5,00	4,00	3,33	3,33	2,00	2,50	2,50	1,00	1,00	3,00	2,00	1,00	1,00	2,00	12,4%	2,34775	18,909
A13	1,67	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,66	4,6%	0,86608	18,997
A14	3,33	0,50	1,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,33	1,00	1,00	0,65	0,50	0,50	0,66	4,7%	0,89158	19,075
A15	2,00	1,00	2,00	1,52	2,00	1,52	1,43	1,43	1,00	1,00	1,00	0,50	2,00	1,54	1,00	0,50	1,00	1,00	6,2%	1,16616	18,776
A16	2,00	0,50	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	0,75	0,50	5,2%	0,99107	19,125
A17	1,43	0,67	1,43	2,00	1,43	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,33	1,00	0,75	5,8%	1,10264	19,060
A18	2,00	0,50	2,00	1,43	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,52	1,52	1,00	2,00	1,33	1,00	6,0%	1,13609	18,903
<b>total</b>	<b>35,73</b>	<b>12,83</b>	<b>30,71</b>	<b>32,20</b>	<b>28,99</b>	<b>22,77</b>	<b>21,92</b>	<b>21,62</b>	<b>14,50</b>	<b>15,30</b>	<b>16,00</b>	<b>9,33</b>	<b>22,12</b>	<b>25,55</b>	<b>16,37</b>	<b>21,33</b>	<b>16,68</b>	<b>16,77</b>			<b>18,879</b>
18	1																				
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	VECTOR (P)		
A1	0,03	0,04	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,06	0,03	0,04	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02	0,04	0,03	3,0%		
A2	0,06	0,08	0,07	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,11	0,09	0,08	0,06	0,09	0,09	0,12	7,5%		
A3	0,09	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,05	0,04	0,03	0,05	0,04	0,03	3,6%		
A4	0,04	0,05	0,05	0,03	0,03	0,02	0,05	0,02	0,03	0,05	0,04	0,03	0,05	0,01	0,04	0,02	0,03	0,04	3,5%		
A5	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06	0,02	0,05	0,04	0,03	0,05	0,04	0,03	3,6%		
Matriz de comparaciones entre alternativas respecto a criterios financieros																					
A6	0,04	0,05	0,05	0,06	0,03	0,04	0,05	0,05	0,03	0,05	0,04	0,03	0,05	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	4,5%		
A7	0,06	0,05	0,05	0,03	0,05	0,04	0,05	0,05	0,03	0,05	0,04	0,03	0,05	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	4,6%		
A8	0,04	0,05	0,05	0,08	0,05	0,04	0,05	0,05	0,03	0,05	0,04	0,03	0,05	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	4,7%		
A9	0,03	0,08	0,10	0,06	0,09	0,09	0,09	0,09	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,08	0,06	0,09	0,06	0,06	7,1%		
Matriz de comparaciones entre alternativas respecto a criterios financieros																					
A10	0,06	0,08	0,07	0,04	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,04	0,09	0,08	0,06	0,09	0,06	0,06	6,6%		

A11	0,04	0,08	0,07	0,04	0,03	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,04	0,09	0,08	0,06	0,09	0,06	0,06	6,3%
A12	0,14	0,08	0,16	0,12	0,17	0,18	0,15	0,15	0,14	0,16	0,16	0,11	0,05	0,12	0,12	0,05	0,06	0,12	12,4%
A13	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,07	0,03	0,03	0,11	0,05	0,04	0,03	0,05	0,06	0,04	4,6%
A14	0,09	0,04	0,03	0,16	0,03	0,04	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,02	0,03	0,04	4,7%
A15	0,06	0,08	0,07	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,09	0,06	0,06	0,02	0,06	0,06	6,2%
A16	0,06	0,04	0,03	0,06	0,03	0,04	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,11	0,05	0,08	0,12	0,05	0,04	0,03	5,2%
A17	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05	0,07	0,07	0,06	0,11	0,05	0,08	0,06	0,06	0,06	0,04	5,8%
A18	0,06	0,04	0,07	0,04	0,07	0,04	0,05	0,05	0,07	0,07	0,06	0,05	0,07	0,06	0,06	0,09	0,08	0,06	6,0%
total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

INDICE DE  
**0,0517** CONSISTENCIA  
 INDICE  
**1,65** ALEATORIO  
 INDICADORES DE  
**0,0313** CONSISTENCIA

**Matriz de comparaciones entre alternativas, respecto a criterios técnicos**

NIVEL 1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	VECTOR (P)	P'	D	
A1	1,00	0,50	1,10	0,80	0,80	0,90	1,10	1,00	0,80	0,80	0,90	0,80	1,00	1,20	0,90	0,50	0,80	0,80	4,6%	0,85642	18,708	
A2	2,00	1,00	0,60	2,00	0,40	0,40	1,50	0,70	0,60	1,00	0,40	2,00	0,50	2,00	1,00	0,40	2,00	0,40	5,6%	1,04886	18,869	
A3	0,91	1,67	1,00	0,60	0,60	0,70	1,00	1,10	1,00	0,60	0,60	0,60	0,80	0,90	1,60	0,60	0,60	0,60	4,3%	0,81593	19,099	
A4	1,25	0,50	1,67	1,00	1,00	1,10	1,00	1,10	1,60	1,10	1,10	1,00	1,30	1,00	1,00	0,90	1,00	0,80	5,7%	1,06072	18,611	
A5	1,25	2,50	1,67	1,00	1,00	1,10	1,00	0,80	0,60	0,50	1,10	1,00	0,50	0,20	2,70	1,10	1,00	1,00	5,5%	1,06298	19,156	
A6	1,11	2,50	1,43	0,91	0,91	1,00	1,50	1,60	1,00	0,90	1,00	0,90	1,10	1,40	1,00	0,90	0,90	0,50	5,8%	1,11127	19,178	
A7	0,91	0,67	1,00	1,00	1,00	0,67	1,00	1,10	0,90	0,60	1,00	0,60	1,00	0,90	1,60	1,00	0,60	1,00	4,8%	0,89057	18,748	
A8	1,00	1,43	0,91	0,91	1,25	0,63	0,91	1,00	0,90	0,60	0,60	0,50	0,70	0,90	1,50	0,60	0,50	0,60	4,3%	0,81649	19,178	
A9	1,25	1,67	1,00	0,63	1,67	1,00	1,11	1,11	1,00	0,60	0,70	0,60	0,80	1,00	1,70	0,70	0,60	0,60	4,9%	0,93705	19,242	
A10	1,25	1,00	1,67	0,91	2,00	1,11	1,67	1,67	1,67	1,00	1,00	0,90	1,20	1,50	2,50	1,00	0,90	1,00	6,7%	1,2625	18,901	
A11	1,11	2,50	1,67	0,91	0,91	1,00	1,00	1,67	1,43	1,00	1,00	0,90	1,20	1,40	2,40	1,00	0,90	0,90	6,3%	1,21357	19,119	
A12	1,25	0,50	1,67	1,00	1,00	1,11	1,67	2,00	1,67	1,11	1,11	1,00	1,30	1,60	2,80	1,10	1,00	1,10	6,8%	1,2611	18,622	
A13	1,00	2,00	1,25	0,77	2,00	0,91	1,00	1,43	1,25	0,83	0,83	0,77	1,00	1,20	2,10	0,80	0,80	0,80	5,7%	1,10158	19,276	
A14	0,83	0,50	1,11	1,00	5,00	0,71	1,11	1,11	1,00	0,67	0,71	0,63	0,83	1,00	1,70	0,70	0,60	0,70	5,5%	1,06366	19,474	
A15	1,11	1,00	0,63	1,00	0,37	1,00	0,63	0,67	0,59	0,40	0,42	0,36	0,48	0,59	1,00	0,40	0,40	0,40	3,2%	0,60605	18,928	
A16	2,00	2,50	1,67	1,11	0,91	1,11	1,00	1,67	1,43	1,00	1,00	0,91	1,25	1,43	2,50	1,00	0,90	1,00	6,8%	1,2875	19,058	
A17	1,25	0,50	1,67	1,00	1,00	1,11	1,67	2,00	1,67	1,11	1,11	1,00	1,25	1,67	2,50	1,11	1,00	1,00	6,7%	1,24598	18,630	
A18	1,25	2,50	1,67	1,25	1,00	2,00	1,00	1,67	1,67	1,00	1,11	0,91	1,25	1,43	2,50	1,00	1,00	1,00	7,0%	1,34297	19,051	
total	21,73	25,43	23,36	17,79	22,81	17,56	20,86	23,38	20,76	14,82	15,70	15,37	17,46	21,31	33,00	14,81	15,50	14,20			18,992	
18	1																					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	VECTOR (P)			

A1	0,05	0,02	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,03	0,03	0,05	0,06	4,6%	
A2	0,09	0,04	0,03	0,11	0,02	0,02	0,07	0,03	0,03	0,07	0,03	0,13	0,03	0,09	0,03	0,03	0,13	0,03	5,6%	
A3	0,04	0,07	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	4,3%	
A4	0,06	0,02	0,07	0,06	0,04	0,06	0,05	0,05	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,05	0,03	0,06	0,06	0,06	5,7%	
A5	0,06	0,10	0,07	0,06	0,04	0,06	0,05	0,03	0,03	0,03	0,07	0,07	0,03	0,01	0,08	0,07	0,06	0,07	5,5%	
A6	0,05	0,10	0,06	0,05	0,04	0,06	0,07	0,07	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,03	0,06	0,06	0,04	5,8%	
A7	0,04	0,03	0,04	0,06	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,05	0,07	0,04	0,07	4,8%	
A8	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,03	0,04	4,3%	
A9	0,06	0,07	0,04	0,04	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	4,9%	
A10	0,06	0,04	0,07	0,05	0,09	0,06	0,08	0,07	0,08	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,07	0,06	0,07	6,7%	
A11	0,05	0,10	0,07	0,05	0,04	0,06	0,05	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	6,3%	
A12	0,06	0,02	0,07	0,06	0,04	0,06	0,08	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	0,08	6,8%	
<b>Matriz de comparaciones entre alternativas, respecto a criterios técnicos</b>																				
A13	0,05	0,08	0,05	0,04	0,09	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	5,7%	
A14	0,04	0,02	0,05	0,06	0,22	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	5,5%	
A15	0,05	0,04	0,03	0,06	0,22	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	3,2%	
A16	0,09	0,10	0,07	0,06	0,04	0,06	0,05	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,07	0,06	0,07	6,8%	
A17	0,06	0,02	0,07	0,06	0,04	0,06	0,08	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,06	0,07	6,7%	
A18	0,06	0,10	0,07	0,07	0,04	0,11	0,05	0,07	0,08	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,08	0,07	0,06	0,07	7,0%	
total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
<p style="text-align: center;">INDICADORES DE CONSISTENCIA</p> <p>INDICE DE CONSISTENCIA: <b>0,0583</b>      INDICE ALEATORIO: <b>1,65</b>      INDICADORES DE CONSISTENCIA: <b>0,0353</b></p>																				

<b>Matriz de comparaciones entre alternativas respecto a criterios sociales</b>																					
NIVEL 1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	VECTOR (P)	P'	D
A1	1,00	2,00	2,00	3,00	0,30	0,20	1,00	0,50	1,00	0,20	1,00	0,50	0,80	0,66	0,50	0,50	1,00	1,00	4,5%	0,90931	20,051
A2	0,50	1,00	2,00	3,00	3,00	2,50	0,60	1,50	1,00	1,50	1,00	1,50	1,50	0,40	1,60	1,50	2,50	2,50	7,4%	1,41936	19,306
A3	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00	1,60	0,35	1,00	0,66	1,00	0,63	1,00	1,00	0,80	1,00	1,00	1,50	1,50	4,8%	0,94751	19,857
A4	0,33	0,33	0,50	1,00	1,00	0,75	0,17	0,40	0,30	0,40	0,30	0,40	0,40	1,10	0,50	0,40	0,66	0,66	2,4%	0,50674	21,255
A5	3,33	0,33	0,50	1,00	1,00	1,00	0,80	0,50	0,35	0,50	0,33	0,50	0,50	0,80	0,60	0,50	0,75	0,75	3,4%	0,72108	21,355
A6	5,00	0,40	0,63	1,33	1,00	1,00	0,22	0,50	0,42	0,50	0,40	0,50	0,50	0,90	0,65	0,50	0,85	0,85	3,7%	0,80055	21,700
A7	1,00	1,67	2,86	5,88	1,25	4,55	1,00	1,00	2,00	1,50	1,50	1,10	1,00	0,66	0,50	2,00	1,20	1,00	7,8%	1,53963	19,753
A8	2,00	0,67	1,00	2,50	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,55	1,55	5,5%	1,09324	19,758
A9	1,00	1,00	1,52	3,33	2,86	2,38	0,50	1,00	1,00	1,20	1,00	1,20	1,20	0,35	1,50	1,20	2,00	2,00	6,5%	1,25767	19,428
A10	5,00	0,67	1,00	2,50	2,00	2,00	0,67	1,00	0,83	1,00	0,75	1,00	1,00	0,28	1,20	1,00	1,54	1,54	5,9%	1,20125	20,232
A11	1,00	1,00	1,59	3,33	3,03	2,50	0,67	1,33	1,00	1,33	1,00	1,20	1,20	0,35	1,54	1,50	2,00	2,00	6,9%	1,33232	19,419



A1	1,00	0,50	1,10	0,50	0,20	1,20	0,20	0,20	1,20	1,00	0,50	1,20	1,20	0,50	1,10	1,50	0,50	1,10	4,4%	0,85399	19,401
A2	2,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,52	0,75	1,00	2,00	1,20	0,75	2,00	0,52	0,70	2,00	0,55	1,00	2,00	5,9%	1,17103	19,699
A3	0,91	1,00	1,00	0,50	0,20	1,10	1,54	0,20	1,10	0,30	0,50	0,20	0,20	0,50	1,00	1,20	0,20	1,00	3,6%	0,71076	19,483
A4	2,00	1,00	2,00	1,00	0,80	0,50	0,75	1,00	0,50	1,10	0,70	0,50	0,50	0,70	0,45	0,55	1,00	0,45	3,9%	0,79482	20,434
A5	5,00	1,25	5,00	1,25	1,00	0,60	1,00	1,10	0,60	1,50	1,00	0,60	0,63	0,83	0,55	0,66	1,10	0,55	5,6%	1,18611	21,353
A6	0,83	1,92	0,91	2,00	1,67	1,00	1,50	2,00	1,00	2,50	1,50	1,00	1,00	1,50	1,00	1,10	2,00	1,00	7,1%	1,37531	19,498
A7	5,00	1,33	0,65	1,33	1,00	0,67	1,00	1,20	0,63	1,50	1,00	0,63	0,70	1,00	0,60	0,70	1,20	0,60	5,3%	1,07654	20,500
A8	5,00	1,00	5,00	1,00	0,91	0,50	0,83	1,00	0,50	1,20	0,80	0,50	0,55	0,75	0,50	0,60	1,00	0,50	5,0%	1,07247	21,604
A9	0,83	0,50	0,91	2,00	1,67	1,00	1,59	2,00	1,00	2,50	1,50	1,00	1,00	1,50	1,00	1,10	2,00	1,00	6,7%	1,2953	19,424
A10	1,00	0,83	3,33	0,91	0,67	0,40	0,67	0,83	0,40	1,00	2,00	2,00	0,45	0,63	1,00	2,00	0,83	1,00	5,3%	1,05063	19,994
A11	2,00	1,33	2,00	1,43	1,00	0,67	1,00	1,25	0,67	0,50	1,00	0,66	0,70	1,00	0,63	0,75	1,20	0,63	4,8%	0,95867	20,072
A12	0,83	0,50	5,00	2,00	1,67	1,00	1,59	2,00	1,00	0,50	1,52	1,00	1,00	1,50	1,00	1,10	2,00	1,00	6,7%	1,34017	19,983
A13	0,83	1,92	5,00	2,00	1,59	1,00	1,43	1,82	1,00	2,22	1,43	1,00	1,00	1,50	1,00	1,10	2,00	1,00	7,4%	1,48936	20,091
A14	2,00	1,43	2,00	1,43	1,20	0,67	1,00	1,33	0,67	1,59	1,00	0,67	0,67	1,00	0,63	0,75	1,20	0,66	5,1%	1,03691	20,139
A15	0,91	0,50	1,00	2,22	1,82	1,00	1,67	2,00	1,00	1,00	1,59	1,00	1,00	1,59	1,00	1,20	2,00	1,00	6,5%	1,25885	19,334
A16	0,67	1,82	0,83	1,82	1,52	0,91	1,43	1,67	0,91	0,50	1,33	0,91	0,91	1,33	0,83	1,00	1,54	0,83	5,8%	1,12784	19,371
A17	2,00	1,00	5,00	1,00	0,91	0,50	0,83	1,00	0,50	1,20	0,83	0,50	0,50	0,83	0,50	0,65	1,00	0,50	4,5%	0,94572	21,017
A18	0,91	0,50	1,00	2,22	1,82	1,00	1,67	2,00	1,00	1,00	1,59	1,00	1,00	1,52	1,00	1,20	2,00	1,00	6,5%	1,25541	19,340
<b>total</b>	<b>33,73</b>	<b>19,34</b>	<b>42,73</b>	<b>25,61</b>	<b>20,43</b>	<b>14,23</b>	<b>20,44</b>	<b>23,60</b>	<b>15,67</b>	<b>22,31</b>	<b>20,53</b>	<b>16,37</b>	<b>13,53</b>	<b>18,88</b>	<b>15,79</b>	<b>17,71</b>	<b>23,77</b>	<b>15,82</b>			<b>20,041</b>
18	1																				
	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>	<b>A6</b>	<b>A7</b>	<b>A8</b>	<b>A9</b>	<b>A10</b>	<b>A11</b>	<b>A12</b>	<b>A13</b>	<b>A14</b>	<b>A15</b>	<b>A16</b>	<b>A17</b>	<b>A18</b>	<b>VECTOR (P)</b>		
A1	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,08	0,01	0,01	0,08	0,04	0,02	0,07	0,09	0,03	0,07	0,08	0,02	0,07	4,4%		
A2	0,06	0,05	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,13	0,05	0,04	0,12	0,04	0,04	0,13	0,03	0,04	0,13	5,9%		
A3	0,03	0,05	0,02	0,02	0,01	0,08	0,08	0,01	0,07	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,06	0,07	0,01	0,06	3,6%		
A4	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	3,9%		
A5	0,15	0,06	0,12	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,07	0,05	0,04	0,05	0,04	0,03	0,04	0,05	0,03	5,6%		
A6	0,02	0,10	0,02	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,06	0,11	0,07	0,06	0,07	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	7,1%		
A7	0,15	0,07	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,07	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	5,3%		
A8	0,15	0,05	0,12	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	5,0%		
A9	0,02	0,03	0,02	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,06	0,11	0,07	0,06	0,07	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	6,7%		
A10	0,03	0,04	0,08	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,10	0,12	0,03	0,03	0,06	0,11	0,03	0,06	5,3%		
A11	0,06	0,07	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,02	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	4,8%		
A12	0,02	0,03	0,12	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,06	0,02	0,07	0,06	0,07	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	6,7%		
A13	0,02	0,10	0,12	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,06	0,10	0,07	0,06	0,07	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	7,4%		
A14	0,06	0,07	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,04	0,07	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	5,1%		
A15	0,03	0,03	0,02	0,09	0,09	0,07	0,08	0,08	0,06	0,04	0,08	0,06	0,07	0,08	0,06	0,07	0,08	0,06	6,5%		
<b>Matriz de comparaciones entre alternativas, respecto a criterios ambientales</b>																					
A16	0,02	0,09	0,02	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06	0,02	0,06	0,06	0,07	0,07	0,05	0,06	0,06	0,05	5,8%		

<b>A17</b>	0,06	0,05	0,12	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	4,5%
<b>A18</b>	0,03	0,03	0,02	0,09	0,09	0,07	0,08	0,08	0,06	0,04	0,08	0,06	0,07	0,08	0,06	0,07	0,08	0,06	6,5%
<b>total</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
INDICE DE CONSISTENCIA <b>0,1201</b> INDICE ALEATORIO <b>1,65</b> INDICADORES DE CONSISTENCIA <b>0,0728</b>																			

Tabla B-4: aplicación método TOPSIS

Subcriterios Financieros							
PESO CRITERIOS	0,45						
PESO SUBCRITERIOS	0,21	0,15	0,12	0,12	0,17	0,12	0,11
PESOS	0,0934	0,0674	0,0547	0,0547	0,0790	0,0550	0,0505
SUBCRITERIOS	<i>Pxn promedio/año</i>	<i>Costo litro leche</i>	<i>Relación B/C</i>	<i>Margen Bruto</i>	<i>Rentabilidad</i>	<i>Punto de Equilibrio (lt/año)</i>	<i>Costos totales pxn (\$año)</i>
	MAX	MIN	MAX	MAX	MAX	MIN	MIN
ALTERNATIVAS	CSRE1	CSRE2	CSRE3	CSRE4	CSRE5	CSRE6	CSRE9
<b>A1</b>	4.015	1.631	0,59	-2.655.560	-0,17	6.753	6.550.110
<b>A2</b>	9.600	750	1,26	1.872.450	0,40	7.618	7.199.077
<b>A3</b>	5.840	1.399	0,72	-2.270.970	-0,39	8.088	8.169.370
<b>A4</b>	7.373	895	1,03	181.759	0,01	7.175	6.601.401
<b>A5</b>	6.570	1.060	0,91	-655.892	-0,04	7.253	6.963.092
<b>A6</b>	6.497	1.053	0,93	-474.840	-0,09	6.982	6.841.900
<b>A7</b>	6.680	869	1,14	839.362	0,13	5.836	5.806.741
<b>A8</b>	7.300	959	1,03	228.136	0,02	7.070	6.998.864
<b>A9</b>	6.607	983	1,17	1.096.859	0,15	5.652	6.494.009
<b>A10</b>	8.286	750	1,28	1.738.158	0,52	6.475	6.215.922
<b>A11</b>	8.030	720	1,35	2.045.537	0,22	5.932	5.783.713
<b>A12</b>	7.738	795	1,32	1.975.784	0,60	5.856	6.149.116
<b>A13</b>	6.570	1.072	0,92	-568.564	-0,15	7.147	7.040.014
<b>A14</b>	6.278	1.101	0,88	-821.099	-0,14	7.124	6.910.759
<b>A15</b>	6.753	1.083	0,97	-222.346	-0,07	6.964	7.312.471
Subcriterios Financieros							
<b>A16</b>	6.570	784	1,17	893.821	0,08	5.598	5.150.579

<b>A17</b>	6.205	850	1,08	421.958	0,06	5.745	5.274.232
<b>A18</b>	6.570	878	1,09	493.474	0,08	6.052	5.767.736
<b>MEJOR</b>	9.600	720	1,35	2.045.537	0,60	5.598	8.169.370
<b>PEOR</b>	4.015	1.631	0,59	-2.655.560	-0,39	8.088	5.150.579
<b>Norma Euclidiana del vector del atributo</b>							
$ X_n  = \sqrt{\sum X_i^2}$							
Magnitud de Xi	<b>Pxn promedia/año</b>	<b>Costo litro leche</b>	<b>Relación B/C</b>	<b>Margen Bruto</b>	<b>Rentabilidad</b>	<b>Punto de Equilibrio (lt/año)</b>	<b>Costos totales pxn (\$año)</b>
	29.490,3	4.267,2	4,5	5.633.850,6	1,1	28.295,0	27.812.309,0
<b>Matriz de decisión normalizada asociada</b>							
<b>SUBCRITERIOS</b>	<b>Pxn promedia/año</b>	<b>Costo litro leche</b>	<b>Relación B/C</b>	<b>Margen Bruto</b>	<b>Rentabilidad</b>	<b>Punto de Equilibrio (lt/año)</b>	<b>Costos totales pxn (\$año)</b>
	<b>MAX</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MIN</b>	<b>MIN</b>
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>CSRE1</b>	<b>CSRE2</b>	<b>CSRE3</b>	<b>CSRE4</b>	<b>CSRE5</b>	<b>CSRE6</b>	<b>CSRE9</b>
<b>A1</b>	0,13615	0,38231	0,13149	-0,47136	-0,15560	0,23865	0,23551
<b>A2</b>	0,32551	0,17574	0,27867	0,33236	0,37541	0,26924	0,25885
<b>A3</b>	0,19803	0,32781	0,15967	-0,40309	-0,36444	0,28586	0,29373
<b>A4</b>	0,25001	0,20982	0,22724	0,03226	0,01271	0,25359	0,23736
<b>A5</b>	0,22279	0,24836	0,20032	-0,11642	-0,04086	0,25634	0,25036
<b>A6</b>	0,22031	0,24678	0,20580	-0,08428	-0,08483	0,24674	0,24600
<b>A7</b>	0,22650	0,20372	0,25312	0,14899	0,12468	0,20625	0,20878
<b>A8</b>	0,24754	0,22468	0,22836	0,04049	0,02302	0,24985	0,25165
<b>A9</b>	0,22402	0,23035	0,25850	0,19469	0,13832	0,19975	0,23349
<b>A10</b>	0,28096	0,17581	0,28299	0,30852	0,49297	0,22884	0,22350
<b>A11</b>	0,27229	0,16879	0,29936	0,36308	0,20208	0,20965	0,20796
<b>A12</b>	0,26239	0,18622	0,29221	0,35070	0,56456	0,20697	0,22109
<b>A13</b>	0,22279	0,25111	0,20329	-0,10092	-0,14547	0,25260	0,25313
<b>A14</b>	0,21288	0,25796	0,19487	-0,14574	-0,12931	0,25179	0,24848
<b>A15</b>	0,22897	0,25378	0,21443	-0,03947	-0,06151	0,24613	0,26292
<b>A16</b>	0,22279	0,18371	0,25953	0,15865	0,07480	0,19786	0,18519
<b>A17</b>	0,21041	0,19919	0,23884	0,07490	0,05226	0,20305	0,18964
<b>A18</b>	0,22279	0,20573	0,24007	0,08759	0,07235	0,21390	0,20738
<b>TA+</b>	0,32551	0,16879	0,29936	0,36308	0,56456	0,19786	0,18519
<b>TA-</b>	0,13615	0,38231	0,13149	-0,47136	-0,36444	0,28586	0,29373
<b>Distancia a la ideal positiva</b>							

SUBCRITERIOS	<i>Pxn promedia/año</i>	<i>Costo litro leche</i>	<i>Relación B/C</i>	<i>Margen Bruto</i>	<i>Rentabilidad</i>	<i>Punto de Equilibrio (lt/año)</i>	<i>Costos totales pxn (\$año)</i>
	<b>MAX</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MIN</b>	<b>MIN</b>
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>CSRE1</b>	<b>CSRE2</b>	<b>CSRE3</b>	<b>CSRE4</b>	<b>CSRE5</b>	<b>CSRE6</b>	<b>CSRE9</b>
A1	-0,01769	0,01440	-0,00918	-0,04561	-0,05692	0,00224	0,00254
A2	0,00000	0,00047	-0,00113	-0,00168	-0,01495	0,00392	0,00372
A3	-0,01191	0,01072	-0,00764	-0,04188	-0,07343	0,00484	0,00548
A4	-0,00705	0,00277	-0,00394	-0,01808	-0,04362	0,00306	0,00263
A5	-0,00960	0,00537	-0,00541	-0,02621	-0,04785	0,00322	0,00329
A6	-0,00983	0,00526	-0,00511	-0,02445	-0,05133	0,00269	0,00307
A7	-0,00925	0,00236	-0,00253	-0,01170	-0,03477	0,00046	0,00119
A8	-0,00728	0,00377	-0,00388	-0,01763	-0,04280	0,00286	0,00335
A9	-0,00948	0,00415	-0,00223	-0,00920	-0,03369	0,00010	0,00244
A10	-0,00416	0,00047	-0,00090	-0,00298	-0,00566	0,00170	0,00193
A11	-0,00497	0,00000	0,00000	0,00000	-0,02865	0,00065	0,00115
A12	-0,00590	0,00118	-0,00039	-0,00068	0,00000	0,00050	0,00181
A13	-0,00960	0,00555	-0,00525	-0,02536	-0,05612	0,00301	0,00343
A14	-0,01052	0,00601	-0,00571	-0,02781	-0,05484	0,00297	0,00319
A15	-0,00902	0,00573	-0,00464	-0,02200	-0,04949	0,00265	0,00392
A16	-0,00960	0,00101	-0,00218	-0,01117	-0,03871	0,00000	0,00000
A17	-0,01075	0,00205	-0,00331	-0,01575	-0,04049	0,00029	0,00022
A18	-0,00960	0,00249	-0,00324	-0,01506	-0,03890	0,00088	0,00112
<b>POTENCIA</b>	<b>2</b>						
<b>(TAK - TA+)^2</b>							
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>CSRE1</b>	<b>CSRE2</b>	<b>CSRE3</b>	<b>CSRE4</b>	<b>CSRE5</b>	<b>CSRE6</b>	<b>CSRE9</b>
A1	0,0003130	0,0002074	0,0000842	0,0020803	0,0032401	0,0000050	0,0000064
A2	0,0000000	0,0000002	0,0000013	0,0000028	0,0002235	0,0000154	0,0000138
A3	0,0001418	0,0001150	0,0000583	0,0017538	0,0053918	0,0000234	0,0000300
A4	0,0000497	0,0000077	0,0000155	0,0003270	0,0019026	0,0000094	0,0000069
A5	0,0000921	0,0000288	0,0000293	0,0006869	0,0022899	0,0000103	0,0000108
A6	0,0000966	0,0000277	0,0000262	0,0005979	0,0026346	0,0000072	0,0000094
A7	0,0000856	0,0000056	0,0000064	0,0001369	0,0012088	0,0000002	0,0000014
A8	0,0000531	0,0000142	0,0000151	0,0003109	0,0018321	0,0000082	0,0000112
A9	0,0000899	0,0000172	0,0000050	0,0000847	0,0011350	0,0000000	0,0000059
A10	0,0000173	0,0000002	0,0000008	0,0000089	0,0000320	0,0000029	0,0000037
A11	0,0000247	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0008208	0,0000004	0,0000013
A12	0,0000348	0,0000014	0,0000002	0,0000005	0,0000000	0,0000003	0,0000033
<b>(TAK - TA+)^2</b>							



<b>A13</b>	0,0000921	0,0000308	0,0000276	0,0006432	0,0031496	0,0000091	0,0000118
<b>A14</b>	0,0001107	0,0000362	0,0000326	0,0007735	0,0030079	0,0000088	0,0000102
<b>A15</b>	0,0000813	0,0000329	0,0000216	0,0004841	0,0024488	0,0000070	0,0000154
<b>A16</b>	0,0000921	0,0000010	0,0000047	0,0001249	0,0014985	0,0000000	0,0000000
<b>A17</b>	0,0001156	0,0000042	0,0000109	0,0002481	0,0016396	0,0000001	0,0000001
<b>A18</b>	0,0000921	0,0000062	0,0000105	0,0002267	0,0015136	0,0000008	0,0000013
<b>Distancia a la ideal negativa</b>							
SUBCRITERIOS	<i>Pxn promedia/año</i>	<i>Costo litro leche</i>	<i>Relación B/C</i>	<i>Margen Bruto</i>	<i>Rentabilidad</i>	<i>Punto de Equilibrio (lt/año)</i>	<i>Costos totales pxn (\$año)</i>
	<b>MAX</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MIN</b>	<b>MIN</b>
ALTERNATIVAS	<b>CSRE1</b>	<b>CSRE2</b>	<b>CSRE3</b>	<b>CSRE4</b>	<b>CSRE5</b>	<b>CSRE6</b>	<b>CSRE9</b>
<b>A1</b>	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,01651	-0,00260	-0,00294
<b>A2</b>	0,01769	-0,01393	0,00804	0,04393	0,05848	-0,00091	-0,00176
<b>A3</b>	0,00578	-0,00368	0,00154	0,00373	0,00000	0,00000	0,00000
<b>A4</b>	0,01064	-0,01163	0,00523	0,02753	0,02981	-0,00177	-0,00285
<b>A5</b>	0,00809	-0,00903	0,00376	0,01940	0,02558	-0,00162	-0,00219
<b>A6</b>	0,00786	-0,00914	0,00406	0,02116	0,02210	-0,00215	-0,00241
<b>A7</b>	0,00844	-0,01204	0,00665	0,03391	0,03866	-0,00438	-0,00429
<b>A8</b>	0,01041	-0,01063	0,00529	0,02798	0,03063	-0,00198	-0,00212
<b>A9</b>	0,00821	-0,01025	0,00694	0,03641	0,03974	-0,00473	-0,00304
<b>A10</b>	0,01353	-0,01393	0,00828	0,04263	0,06777	-0,00314	-0,00354
<b>A11</b>	0,01272	-0,01440	0,00918	0,04561	0,04478	-0,00419	-0,00433
<b>A12</b>	0,01179	-0,01322	0,00878	0,04493	0,07343	-0,00434	-0,00367
<b>A13</b>	0,00809	-0,00885	0,00392	0,02025	0,01731	-0,00183	-0,00205
<b>A14</b>	0,00717	-0,00839	0,00346	0,01780	0,01859	-0,00187	-0,00228
<b>A15</b>	0,00867	-0,00867	0,00453	0,02361	0,02394	-0,00218	-0,00155
<b>A16</b>	0,00809	-0,01339	0,00700	0,03444	0,03472	-0,00484	-0,00548
<b>A17</b>	0,00694	-0,01235	0,00587	0,02986	0,03294	-0,00455	-0,00525
<b>A18</b>	0,00809	-0,01191	0,00593	0,03055	0,03452	-0,00396	-0,00436
<b>(TAK - TA+)^2</b>							
ALTERNATIVAS	<b>CSRE1</b>	<b>CSRE2</b>	<b>CSRE3</b>	<b>CSRE4</b>	<b>CSRE5</b>	<b>CSRE6</b>	<b>CSRE9</b>
<b>A1</b>	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0002725	0,0000067	0,0000086
<b>A2</b>	0,0003130	0,0001941	0,0000647	0,0019299	0,0034197	0,0000008	0,0000031
<b>A3</b>	0,0000334	0,0000135	0,0000024	0,0000139	0,0000000	0,0000000	0,0000000
<b>A4</b>	0,0001132	0,0001353	0,0000274	0,0007578	0,0008886	0,0000031	0,0000081
<b>(TAK - TA+)^2</b>							

A5	0,0000655	0,0000816	0,0000142	0,0003764	0,0006542	0,0000026	0,0000048
A6	0,0000618	0,0000835	0,0000165	0,0004476	0,0004884	0,0000046	0,0000058
A7	0,0000712	0,0001451	0,0000442	0,0011497	0,0014946	0,0000192	0,0000184
A8	0,0001083	0,0001130	0,0000280	0,0007828	0,0009379	0,0000039	0,0000045
A9	0,0000674	0,0001050	0,0000482	0,0013254	0,0015792	0,0000224	0,0000092
A10	0,0001830	0,0001940	0,0000686	0,0018171	0,0045928	0,0000098	0,0000126
A11	0,0001618	0,0002074	0,0000842	0,0020803	0,0020051	0,0000176	0,0000187
A12	0,0001391	0,0001749	0,0000772	0,0020190	0,0053918	0,0000188	0,0000134
A13	0,0000655	0,0000783	0,0000154	0,0004100	0,0002996	0,0000033	0,0000042
A14	0,0000514	0,0000703	0,0000120	0,0003168	0,0003454	0,0000035	0,0000052
A15	0,0000752	0,0000751	0,0000205	0,0005573	0,0005733	0,0000048	0,0000024
A16	0,0000655	0,0001794	0,0000490	0,0011859	0,0012053	0,0000234	0,0000300
A17	0,0000481	0,0001525	0,0000344	0,0008915	0,0010848	0,0000207	0,0000276
A18	0,0000655	0,0001418	0,0000352	0,0009334	0,0011919	0,0000157	0,0000190

Subcriterios Técnicos							
PESO CRITERIOS	0,26						
PESO SUBCRITERIOS	0,18	0,22	0,22	0,07	0,12	0,10	0,08
PESOS	0,0479	0,0590	0,0590	0,0197	0,0308	0,0269	0,0199
SUBCRITERIOS	Lt vaca/día	Intervalo entre partos (d)	Días abiertos	Partos hato/año	Certif. Tuberc y brucel.	BPG	Rel leche/[]
	MAX	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX
ALTERNATIVAS	CSRT1	CSRT2	CSRT3	CSRT4	CSRT5	CSRT6	CSRT7
A1	11,0	447	160	20	2	1	3,0
A2	26,3	410	104	40	2	1	4,0
A3	16,0	442	164	64	2	1	3,3
A4	20,2	412	162	13	1	0	4,0
A5	18,0	382	156	10	1	0	4,5
A6	17,8	387	128	36	1	0	3,8
A7	18,3	425	117	20	2	1	4,0
A8	20,0	427	119	24	2	1	4,0
A9	18,1	465	165	45	2	1	4,0
A10	22,7	443	160	18	1	0	4,2
A11	22,0	433	145	21	1	0	4,2
A12	21,2	395	172	42	0	0	3,7
A13	18,0	391	209	16	2	1	3,5

Subcriterios Técnicos

<b>A14</b>	17,2	452	160	39	2	1	4,0
<b>A15</b>	18,5	405	133	87	2	1	3,8
<b>A16</b>	18,0	521	110	9	1	0	4,0
<b>A17</b>	17,0	390	184	44	1	0	4,5
<b>A18</b>	18,0	430	206	70	1	0	4,5
<b>MEJOR</b>	<b>26,3</b>	<b>382,0</b>	<b>104,0</b>	<b>87,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,0</b>	<b>4,5</b>
<b>PEOR</b>	<b>11,0</b>	<b>521,0</b>	<b>209,0</b>	<b>9,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>3,0</b>
<b>Norma Euclidiana del vector del atributo</b>							
	$ X_n  = \sqrt{\sum X_i^2}$						
Magnitud de Xi	<i>Lt vaca/día</i>	<i>Intervalo entre partos (d)</i>	<i>Días abiertos</i>	<i>Partos hato/año</i>	<i>Certif. tuberc y brucel.</i>	<i>BPG</i>	<i>RI leche/[]</i>
	80,8	1.810,3	661,0	171,6	6,6	3,0	16,8
<b>Matriz de decisión normalizada asociada</b>							
<b>SUBCRITERIOS</b>	<i>Lt vaca/día</i>	<i>Intervalo entre partos (d)</i>	<i>Días abiertos</i>	<i>Partos hato/año</i>	<i>Certif. tuberc y brucel.</i>	<i>BPG</i>	<i>RI leche/[]</i>
	<b>MAX</b>	<b>MIN</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>CSRT1</b>	<b>CSRT2</b>	<b>CSRT3</b>	<b>CSRT4</b>	<b>CSRT5</b>	<b>CSRT6</b>	<b>CSRT7</b>
<b>A1</b>	0,13615	0,24692	0,24206	0,11654	0,30151	0,33333	0,17841
<b>A2</b>	0,32551	0,22648	0,15734	0,23307	0,30151	0,33333	0,23788
<b>A3</b>	0,19803	0,24415	0,24811	0,37291	0,30151	0,33333	0,19625
<b>A4</b>	0,25001	0,22758	0,24508	0,07575	0,15076	0,00000	0,23788
<b>A5</b>	0,22279	0,21101	0,23601	0,05827	0,15076	0,00000	0,26762
<b>A6</b>	0,22031	0,21377	0,19365	0,20976	0,15076	0,00000	0,22599
<b>A7</b>	0,22650	0,23476	0,17700	0,11654	0,30151	0,33333	0,23788
<b>A8</b>	0,24754	0,23587	0,18003	0,13984	0,30151	0,33333	0,23788
<b>A9</b>	0,22402	0,25686	0,24962	0,26220	0,30151	0,33333	0,23788
<b>A10</b>	0,28096	0,24471	0,24206	0,10488	0,15076	0,00000	0,24978
<b>A11</b>	0,27229	0,23918	0,21936	0,12236	0,15076	0,00000	0,24978
<b>A12</b>	0,26239	0,21819	0,26021	0,24472	0,00000	0,00000	0,22004
<b>A13</b>	0,22279	0,21598	0,31619	0,09323	0,30151	0,33333	0,20815
<b>A14</b>	0,21288	0,24968	0,24206	0,22724	0,30151	0,33333	0,23788
<b>A15</b>	0,22897	0,22372	0,20121	0,50693	0,30151	0,33333	0,22599
<b>A16</b>	0,22279	0,28779	0,16641	0,05244	0,15076	0,00000	0,23788
<b>A17</b>	0,21041	0,21543	0,27837	0,25638	0,15076	0,00000	0,26762
<b>A18</b>	0,22279	0,23753	0,31165	0,40787	0,15076	0,00000	0,26762
<b>TA+</b>	<b>0,32551</b>	<b>0,21101</b>	<b>0,15734</b>	<b>0,40787</b>	<b>0,30151</b>	<b>0,33333</b>	<b>0,26762</b>
<b>TA-</b>	<b>0,13615</b>	<b>0,28779</b>	<b>0,31619</b>	<b>0,05827</b>	<b>0,00000</b>	<b>0,00000</b>	<b>0,17841</b>
<b>Distancia a la ideal positiva</b>							

SUBCRITERIOS	<i>Lt vaca/día</i>	<i>Intervalo entre partos (d)</i>	<i>Días abiertos</i>	<i>Partos hato/año</i>	<i>Certif. Tuberc y brucel.</i>	<i>BPG</i>	<i>RI leche/[]</i>
	<i>MAX</i>	<i>MIN</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>
ALTERNATIVAS	CSRT1	CSRT2	CSRT3	CSRT4	CSRT5	CSRT6	CSRT7
A1	-0,00906	0,00212	0,00500	-0,00573	0,00000	0,00000	-0,00178
A2	0,00000	0,00091	0,00000	-0,00344	0,00000	0,00000	-0,00059
A3	-0,00610	0,00195	0,00535	-0,00069	0,00000	0,00000	-0,00142
A4	-0,00361	0,00098	0,00517	-0,00653	-0,00464	-0,00898	-0,00059
A5	-0,00492	0,00000	0,00464	-0,00687	-0,00464	-0,00898	0,00000
A6	-0,00504	0,00016	0,00214	-0,00389	-0,00464	-0,00898	-0,00083
A7	-0,00474	0,00140	0,00116	-0,00573	0,00000	0,00000	-0,00059
A8	-0,00373	0,00147	0,00134	-0,00527	0,00000	0,00000	-0,00059
A9	-0,00486	0,00270	0,00544	-0,00286	0,00000	0,00000	-0,00059
A10	-0,00213	0,00199	0,00500	-0,00596	-0,00464	-0,00898	-0,00036
A11	-0,00255	0,00166	0,00366	-0,00561	-0,00464	-0,00898	-0,00036
A12	-0,00302	0,00042	0,00607	-0,00321	-0,00927	-0,00898	-0,00095
A13	-0,00492	0,00029	0,00937	-0,00618	0,00000	0,00000	-0,00118
A14	-0,00539	0,00228	0,00500	-0,00355	0,00000	0,00000	-0,00059
A15	-0,00462	0,00075	0,00259	0,00195	0,00000	0,00000	-0,00083
A16	-0,00492	0,00453	0,00054	-0,00699	-0,00464	-0,00898	-0,00059
A17	-0,00551	0,00026	0,00714	-0,00298	-0,00464	-0,00898	0,00000
A18	-0,00492	0,00156	0,00910	0,00000	-0,00464	-0,00898	0,00000
<b>(TAK - TA+)^2</b>							
ALTERNATIVAS	CSRT1	CSRT2	CSRT3	CSRT4	CSRT5	CSRT6	CSRT7
A1	0,0000821	0,0000045	0,0000250	0,0000328	0,0000000	0,0000000	0,0000032
A2	0,0000000	0,0000008	0,0000000	0,0000118	0,0000000	0,0000000	0,0000004
A3	0,0000372	0,0000038	0,0000286	0,0000005	0,0000000	0,0000000	0,0000020
A4	0,0000131	0,0000010	0,0000268	0,0000426	0,0000215	0,0000806	0,0000004
A5	0,0000242	0,0000000	0,0000215	0,0000472	0,0000215	0,0000806	0,0000000
A6	0,0000254	0,0000000	0,0000046	0,0000152	0,0000215	0,0000806	0,0000007
A7	0,0000225	0,0000020	0,0000013	0,0000328	0,0000000	0,0000000	0,0000004
A8	0,0000139	0,0000021	0,0000018	0,0000278	0,0000000	0,0000000	0,0000004
A9	0,0000236	0,0000073	0,0000296	0,0000082	0,0000000	0,0000000	0,0000004
A10	0,0000045	0,0000039	0,0000250	0,0000355	0,0000215	0,0000806	0,0000001
A11	0,0000065	0,0000028	0,0000134	0,0000315	0,0000215	0,0000806	0,0000001
A12	0,0000091	0,0000002	0,0000368	0,0000103	0,0000860	0,0000806	0,0000009
A13	0,0000242	0,0000001	0,0000877	0,0000382	0,0000000	0,0000000	0,0000014
A14	0,0000291	0,0000052	0,0000250	0,0000126	0,0000000	0,0000000	0,0000004
<b>(TAK - TA+)^2</b>							

<b>A15</b>	0,0000214	0,0000006	0,0000067	0,0000038	0,0000000	0,0000000	0,0000007
<b>A16</b>	0,0000242	0,0000205	0,0000003	0,0000488	0,0000215	0,0000806	0,0000004
<b>A17</b>	0,0000304	0,0000001	0,0000509	0,0000089	0,0000215	0,0000806	0,0000000
<b>A18</b>	0,0000242	0,0000024	0,0000828	0,0000000	0,0000215	0,0000806	0,0000000
<b>Distancia a la ideal negativa</b>							
<b>SUBCRITERIOS</b>	<i>Lt vaca/día</i>	<i>Intervalo entre partos (d)</i>	<i>Días abiertos</i>	<i>Partos hato/año</i>	<i>Certif. tuberc y brucel.</i>	<i>BPG</i>	<i>RI leche/[]</i>
	<b>MAX</b>	<b>MIN</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>CSRT1</b>	<b>CSRT2</b>	<b>CSRT3</b>	<b>CSRT4</b>	<b>CSRT5</b>	<b>CSRT6</b>	<b>CSRT7</b>
<b>A1</b>	0,00000	-0,00241	-0,00437	0,00115	0,00927	0,00898	0,00000
<b>A2</b>	0,00906	-0,00362	-0,00937	0,00344	0,00927	0,00898	0,00118
<b>A3</b>	0,00296	-0,00257	-0,00401	0,00618	0,00927	0,00898	0,00036
<b>A4</b>	0,00545	-0,00355	-0,00419	0,00034	0,00464	0,00000	0,00118
<b>A5</b>	0,00415	-0,00453	-0,00473	0,00000	0,00464	0,00000	0,00178
<b>A6</b>	0,00403	-0,00436	-0,00723	0,00298	0,00464	0,00000	0,00095
<b>A7</b>	0,00432	-0,00313	-0,00821	0,00115	0,00927	0,00898	0,00118
<b>A8</b>	0,00533	-0,00306	-0,00803	0,00160	0,00927	0,00898	0,00118
<b>A9</b>	0,00421	-0,00182	-0,00393	0,00401	0,00927	0,00898	0,00118
<b>A10</b>	0,00693	-0,00254	-0,00437	0,00092	0,00464	0,00000	0,00142
<b>A11</b>	0,00652	-0,00287	-0,00571	0,00126	0,00464	0,00000	0,00142
<b>A12</b>	0,00604	-0,00410	-0,00330	0,00366	0,00000	0,00000	0,00083
<b>A13</b>	0,00415	-0,00423	0,00000	0,00069	0,00927	0,00898	0,00059
<b>A14</b>	0,00367	-0,00225	-0,00437	0,00332	0,00927	0,00898	0,00118
<b>A15</b>	0,00444	-0,00378	-0,00678	0,00882	0,00927	0,00898	0,00095
<b>A16</b>	0,00415	0,00000	-0,00883	-0,00011	0,00464	0,00000	0,00118
<b>A17</b>	0,00355	-0,00427	-0,00223	0,00389	0,00464	0,00000	0,00178
<b>A18</b>	0,00415	-0,00296	-0,00027	0,00687	0,00464	0,00000	0,00178
<b>(TAK - TA+)^2</b>							
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>CSRT1</b>	<b>CSRT2</b>	<b>CSRT3</b>	<b>CSRT4</b>	<b>CSRT5</b>	<b>CSRT6</b>	<b>CSRT7</b>
<b>A1</b>	0,0000000	0,0000058	0,0000191	0,0000013	0,0000860	0,0000806	0,0000000
<b>A2</b>	0,0000821	0,0000131	0,0000877	0,0000118	0,0000860	0,0000806	0,0000014
<b>A3</b>	0,0000088	0,0000066	0,0000161	0,0000382	0,0000860	0,0000806	0,0000001
<b>A4</b>	0,0000297	0,0000126	0,0000176	0,0000001	0,0000215	0,0000000	0,0000014
<b>A5</b>	0,0000172	0,0000205	0,0000224	0,0000000	0,0000215	0,0000000	0,0000032
<b>A6</b>	0,0000162	0,0000191	0,0000522	0,0000089	0,0000215	0,0000000	0,0000009
<b>A7</b>	0,0000187	0,0000098	0,0000674	0,0000013	0,0000860	0,0000806	0,0000014
<b>A8</b>	0,0000284	0,0000094	0,0000645	0,0000026	0,0000860	0,0000806	0,0000014
<b>(TAK - TA+)^2</b>							

ALTERNATIVAS	CSRT1	CSRT2	CSRT3	CSRT4	CSRT5	CSRT6	CSRT7
A9	0,0000177	0,0000033	0,0000154	0,0000161	0,0000860	0,0000806	0,0000014
A10	0,0000480	0,0000065	0,0000191	0,0000008	0,0000215	0,0000000	0,0000020
A11	0,0000425	0,0000082	0,0000326	0,0000016	0,0000215	0,0000000	0,0000020
A12	0,0000365	0,0000168	0,0000109	0,0000134	0,0000000	0,0000000	0,0000007
A13	0,0000172	0,0000179	0,0000000	0,0000005	0,0000860	0,0000806	0,0000004
A14	0,0000135	0,0000051	0,0000191	0,0000110	0,0000860	0,0000806	0,0000014
A15	0,0000197	0,0000143	0,0000460	0,0000778	0,0000860	0,0000806	0,0000009
A16	0,0000172	0,0000000	0,0000780	0,0000000	0,0000215	0,0000000	0,0000014
A17	0,0000126	0,0000182	0,0000050	0,0000152	0,0000215	0,0000000	0,0000032
A18	0,0000172	0,0000088	0,0000001	0,0000472	0,0000215	0,0000000	0,0000032

Subcriterios sociales						
PESO CRITERIOS	0,14					
PESO SUBCRITERIOS	0,46	0,20	0,12	0,12	0,06	0,06
PESOS	0,0646	0,0276	0,0167	0,0167	0,0078	0,0078
SUBCRITERIOS	Calidad de Vida	Relevo Generacional	Consenso Social	Acceso al Mercado	Apoyo Institucional	Facilidad Acceso a Crédito
	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX
ALTERNATIVAS	CSRS1	CSRS3	CSRS4	CSRS5	CSRS6	CSRS7
A1	11,0	1,0	7,0	4,0	9,0	7,0
A2	10,0	1,0	8,0	4,0	10,0	8,0
A3	8,0	1,0	7,0	4,0	9,0	6,0
A4	8,0	0,0	7,0	3,0	10,0	6,0
A5	9,0	0,0	7,0	4,0	8,0	7,0
A6	10,0	0,0	7,0	3,0	10,0	7,0
A7	11,0	1,0	8,0	4,0	9,0	6,0
A8	9,0	1,0	9,0	4,0	10,0	7,0
A9	10,0	1,0	7,0	3,0	9,0	7,0
A10	9,0	1,0	9,0	3,0	10,0	6,0
A11	10,0	1,0	7,0	4,0	8,0	6,0
A12	9,0	1,0	8,0	4,0	10,0	7,0
A13	9,0	1,0	8,0	4,0	9,0	8,0
A14	12,0	1,0	7,0	4,0	9,0	6,0
A15	8,0	1,0	8,0	3,0	8,0	8,0
A16	9,0	1,0	6,0	3,0	9,0	8,0
Subcriterios sociales						

<b>A17</b>	11,0	0,0	9,0	3,0	10,0	6,0
<b>A18</b>	11,0	0,0	7,0	3,0	10,0	6,0
<b>MEJOR</b>	12,0	1,0	9,0	4,0	10,0	8,0
<b>PEOR</b>	8,0	0,0	6,0	3,0	8,0	6,0
<b>Norma Euclidiana del vector del atributo</b>						
Xn  =						
Magnitud de Xi	<b>Calidad de Vida</b>	<b>Relevo Generacional</b>	<b>Consenso Social</b>	<b>Acceso al Mercado</b>	<b>Apoyo Institucional</b>	<b>Facilidad Acceso a Crédito</b>
	41,3	3,6	32,2	15,2	39,5	28,9
<b>Matriz de decisión normalizada asociada</b>						
<b>SUBCRITERIOS</b>	<b>Calidad de Vida</b>	<b>Relevo Generacional</b>	<b>Consenso Social</b>	<b>Acceso al Mercado</b>	<b>Apoyo Institucional</b>	<b>Facilidad Acceso a Crédito</b>
	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>CSRS1</b>	<b>CSRS3</b>	<b>CSRS4</b>	<b>CSRS5</b>	<b>CSRS6</b>	<b>CSRS7</b>
<b>A1</b>	0,26632	0,27735	0,21706	0,26261	0,22794	0,24181
<b>A2</b>	0,24211	0,27735	0,24807	0,26261	0,25327	0,27636
<b>A3</b>	0,19369	0,27735	0,21706	0,26261	0,22794	0,20727
<b>A4</b>	0,19369	0,00000	0,21706	0,19696	0,25327	0,20727
<b>A5</b>	0,21790	0,00000	0,21706	0,26261	0,20261	0,24181
<b>A6</b>	0,24211	0,00000	0,21706	0,19696	0,25327	0,24181
<b>A7</b>	0,26632	0,27735	0,24807	0,26261	0,22794	0,20727
<b>A8</b>	0,21790	0,27735	0,27908	0,26261	0,25327	0,24181
<b>A9</b>	0,24211	0,27735	0,21706	0,19696	0,22794	0,24181
<b>A10</b>	0,21790	0,27735	0,27908	0,19696	0,25327	0,20727
<b>A11</b>	0,24211	0,27735	0,21706	0,26261	0,20261	0,20727
<b>A12</b>	0,21790	0,27735	0,24807	0,26261	0,25327	0,24181
<b>A13</b>	0,21790	0,27735	0,24807	0,26261	0,22794	0,27636
<b>A14</b>	0,29053	0,27735	0,21706	0,26261	0,22794	0,20727
<b>A15</b>	0,19369	0,27735	0,24807	0,19696	0,20261	0,27636
<b>A16</b>	0,21790	0,27735	0,18605	0,19696	0,22794	0,27636
<b>A17</b>	0,26632	0,00000	0,27908	0,19696	0,25327	0,20727
<b>A18</b>	0,26632	0,00000	0,21706	0,19696	0,25327	0,20727
<b>TA+</b>	0,26632	0,27735	0,27908	0,26261	0,25327	0,27636
<b>TA-</b>	0,19369	0,00000	0,18605	0,19696	0,20261	0,20727

<b>Distancia a la ideal positiva</b>						
<b>SUBCRITERIOS</b>	<i>Calidad de Vida</i>	<i>Relevancia Generacional</i>	<i>Consenso Social</i>	<i>Acceso al Mercado</i>	<i>Apoyo Institucional</i>	<i>Facilidad Acceso a Crédito</i>
	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>CSRS1</b>	<b>CSRS3</b>	<b>CSRS4</b>	<b>CSRS5</b>	<b>CSRS6</b>	<b>CSRS7</b>
A1	0,00000	0,00000	-0,00103	0,00000	-0,00020	-0,00027
A2	-0,00156	0,00000	-0,00052	0,00000	0,00000	0,00000
A3	-0,00469	0,00000	-0,00103	0,00000	-0,00020	-0,00054
A4	-0,00469	-0,00766	-0,00103	-0,00109	0,00000	-0,00054
A5	-0,00313	-0,00766	-0,00103	0,00000	-0,00040	-0,00027
A6	-0,00156	-0,00766	-0,00103	-0,00109	0,00000	-0,00027
A7	0,00000	0,00000	-0,00052	0,00000	-0,00020	-0,00054
A8	-0,00313	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	-0,00027
A9	-0,00156	0,00000	-0,00103	-0,00109	-0,00020	-0,00027
A10	-0,00313	0,00000	0,00000	-0,00109	0,00000	-0,00054
A11	-0,00156	0,00000	-0,00103	0,00000	-0,00040	-0,00054
A12	-0,00313	0,00000	-0,00052	0,00000	0,00000	-0,00027
A13	-0,00313	0,00000	-0,00052	0,00000	-0,00020	0,00000
A14	0,00156	0,00000	-0,00103	0,00000	-0,00020	-0,00054
A15	-0,00469	0,00000	-0,00052	-0,00109	-0,00040	0,00000
A16	-0,00313	0,00000	-0,00155	-0,00109	-0,00020	0,00000
A17	0,00000	-0,00766	0,00000	-0,00109	0,00000	-0,00054
A18	0,00000	-0,00766	-0,00103	-0,00109	0,00000	-0,00054
	<b>POTENCIA</b>		2			
<b>(TAk - TA+)^2</b>						
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>CSRS1</b>	<b>CSRS3</b>	<b>CSRS4</b>	<b>CSRS5</b>	<b>CSRS6</b>	<b>CSRS7</b>
A1	0,000000	0,000000	0,000011	0,000000	0,000000	0,000001
A2	0,000024	0,000000	0,000003	0,000000	0,000000	0,000000
A3	0,000022	0,000000	0,000011	0,000000	0,000000	0,000003
A4	0,000022	0,000057	0,000011	0,000012	0,000000	0,000003
A5	0,000098	0,000057	0,000011	0,000000	0,000002	0,000001
A6	0,000024	0,000057	0,000011	0,000012	0,000000	0,000001
A7	0,000000	0,000000	0,000003	0,000000	0,000000	0,000003
A8	0,000098	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000001
A9	0,000024	0,000000	0,000011	0,000012	0,000000	0,000001
A10	0,000098	0,000000	0,000000	0,000012	0,000000	0,000003
A11	0,000024	0,000000	0,000011	0,000000	0,000002	0,000003
A12	0,000098	0,000000	0,000003	0,000000	0,000000	0,000001
A13	0,000098	0,000000	0,000003	0,000000	0,000000	0,000000



<b>(TAK - TA+)^2</b>						
<b>A14</b>	0,0000024	0,0000000	0,0000011	0,0000000	0,0000000	0,0000003
<b>A15</b>	0,0000220	0,0000000	0,0000003	0,0000012	0,0000002	0,0000000
<b>A16</b>	0,0000098	0,0000000	0,0000024	0,0000012	0,0000000	0,0000000
<b>A17</b>	0,0000000	0,0000587	0,0000000	0,0000012	0,0000000	0,0000003
<b>A18</b>	0,0000000	0,0000587	0,0000011	0,0000012	0,0000000	0,0000003
<b>Distancia a la ideal negativa</b>						
<b>SUBCRITERIOS</b>	<i>Calidad de Vida</i>	<i>Relevo Generacional</i>	<i>Consenso Social</i>	<i>Acceso al Mercado</i>	<i>Apoyo Institucional</i>	<i>Facilidad Acceso a Crédito</i>
	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>CSRS1</b>	<b>CSRS3</b>	<b>CSRS4</b>	<b>CSRS5</b>	<b>CSRS6</b>	<b>CSRS7</b>
<b>A1</b>	0,00469	0,00766	0,00052	0,00109	0,00020	0,00027
<b>A2</b>	0,00313	0,00766	0,00103	0,00109	0,00040	0,00054
<b>A3</b>	0,00000	0,00766	0,00052	0,00109	0,00020	0,00000
<b>A4</b>	0,00000	0,00000	0,00052	0,00000	0,00040	0,00000
<b>A5</b>	0,00156	0,00000	0,00052	0,00109	0,00000	0,00027
<b>A6</b>	0,00313	0,00000	0,00052	0,00000	0,00040	0,00027
<b>A7</b>	0,00469	0,00766	0,00103	0,00109	0,00020	0,00000
<b>A8</b>	0,00156	0,00766	0,00155	0,00109	0,00040	0,00027
<b>A9</b>	0,00313	0,00766	0,00052	0,00000	0,00020	0,00027
<b>A10</b>	0,00156	0,00766	0,00155	0,00000	0,00040	0,00000
<b>A11</b>	0,00313	0,00766	0,00052	0,00109	0,00000	0,00000
<b>A12</b>	0,00156	0,00766	0,00103	0,00109	0,00040	0,00027
<b>A13</b>	0,00156	0,00766	0,00103	0,00109	0,00020	0,00054
<b>A14</b>	0,00625	0,00766	0,00052	0,00109	0,00020	0,00000
<b>A15</b>	0,00000	0,00766	0,00103	0,00000	0,00000	0,00054
<b>A16</b>	0,00156	0,00766	0,00000	0,00000	0,00020	0,00054
<b>A17</b>	0,00469	0,00000	0,00155	0,00000	0,00040	0,00000
<b>A18</b>	0,00469	0,00000	0,00052	0,00000	0,00040	
<b>(TAK - TA+)^2</b>						
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>CSRS1</b>	<b>CSRS3</b>	<b>CSRS4</b>	<b>CSRS5</b>	<b>CSRS6</b>	<b>CSRS7</b>
<b>A1</b>	0,0000220	0,0000587	0,0000003	0,0000012	0,0000000	0,0000001
<b>A2</b>	0,0000098	0,0000587	0,0000011	0,0000012	0,0000002	0,0000003
<b>A3</b>	0,0000000	0,0000587	0,0000003	0,0000012	0,0000000	0,0000000
<b>A4</b>	0,0000000	0,0000000	0,0000003	0,0000000	0,0000002	0,0000000
<b>A5</b>	0,0000024	0,0000000	0,0000003	0,0000012	0,0000000	0,0000001
<b>A6</b>	0,0000098	0,0000000	0,0000003	0,0000000	0,0000002	0,0000001
<b>A7</b>	0,0000220	0,0000587	0,0000011	0,0000012	0,0000000	0,0000000

$(TA_k - TA_+)^2$						
A8	0,000024	0,0000587	0,000024	0,000012	0,000002	0,000001
A9	0,000098	0,0000587	0,000003	0,000000	0,000000	0,000001
A10	0,000024	0,0000587	0,000024	0,000000	0,000002	0,000000
A11	0,000098	0,0000587	0,000003	0,000012	0,000000	0,000000
A12	0,000024	0,0000587	0,000011	0,000012	0,000002	0,000001
A13	0,000024	0,0000587	0,000011	0,000012	0,000000	0,000003
A14	0,000391	0,0000587	0,000003	0,000012	0,000000	0,000000
A15	0,000000	0,0000587	0,000011	0,000000	0,000000	0,000003
A16	0,000024	0,0000587	0,000000	0,000000	0,000000	0,000003
A17	0,000220	0,000000	0,000024	0,000000	0,000002	0,000000
A18	0,000220	0,000000	0,000003	0,000000	0,000002	0,000000

Subcriterios ambientales										
PESO CRITERIOS	0,14									
PESO SUBCRITERIOS	0,27	0,14	0,10	0,10	0,12	0,07	0,08	0,04	0,04	0,04
PESOS	0,0380	0,0195	0,0144	0,0139	0,0173	0,0094	0,0117	0,0056	0,0056	0,0058
SUBCRITERIOS	Protección fuentes de agua	Período Ocupación (días)	Período Descanso (días)	Capacidad Carga	Erosión	Uso plaguicidas	Prácticas Conservación suelo	Tratamiento de excretas	Destino aguas residuales	Densidad de lombrices
	MAX	MIN	MAX	MAX	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX
ALTERNATIVAS	CSA1	CSA2	CSA3	CSA4	CSA5	CSA6	CSA7	CSA8	CSA9	CSA10
A1	4,0	3,0	21,0	4,0	0,0	2,0	1,0	2,0	1,0	0,0
A2	0,0	2,0	20,0	1,0	0,0	3,0	1,0	2,0	2,0	0,0
A3	3,0	2,0	21,0	4,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	48,9
A4	0,0	2,0	44,0	2,0	1,0	3,0	0,0	2,0	1,0	0,0
A5	1,0	3,0	42,0	2,0	0,0	2,0	2,0	2,0	1,0	0,0
A6	3,0	3,0	25,0	2,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	8,9
A7	2,0	5,0	36,0	3,0	3,0	2,0	1,0	3,0	2,0	22,2
A8	1,0	3,0	50,0	3,0	1,0	3,0	0,0	1,0	1,0	0,0
A9	4,0	2,0	26,0	4,0	2,0	3,0	1,0	3,0	1,0	0,0
A10	0,0	6,0	30,0	3,0	1,0	3,0	1,0	2,0	1,0	0,0
A11	2,0	2,0	20,0	4,0	3,0	3,0	2,0	1,0	1,0	0,0
A12	3,0	3,0	45,0	4,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	13,3
A13	3,0	3,0	30,0	3,0	1,0	2,0	2,0	3,0	1,0	4,0
A14	2,0	4,0	28,0	3,0	1,0	1,0	2,0	2,0	3,0	0,0
A15	3,0	2,0	45,0	4,0	0,0	2,0	1,0	2,0	3,0	0,0

Subcriterios ambientales										
A16	3,0	1,0	40,0	4,0	1,0	3,0	0,0	2,0	1,0	0,0
A17	1,0	5,0	42,0	4,0	1,0	1,0	0,0	2,0	3,0	17,8
A18	4,0	6,0	36,0	4,0	0,0	1,0	1,0	3,0	3,0	0,0
MEJOR	4,0	1,0	50,0	4,0	0,0	1,0	2,0	3,0	3,0	48,9
PEOR	0,0	6,0	20,0	1,0	3,0	3,0	0,0	1,0	1,0	0,0
Norma Euclidiana del vector del atributo										
Xn  =										
Magnitud de Xi	Protección fuentes de agua	Período Ocupación (días)	Período Descanso (días)	Capacidad Carga	Erosión	Uso plaguicidas	Prácticas Conservación suelo	Tratamiento de excretas	Destino aguas residuales	Densidad de lombrices
	10,8	14,7	147,6	14,2	5,7	9,7	5,4	8,9	7,7	58,9
Matriz de decisión normalizada asociada										
SUBCRITERIOS	Protección fuentes de agua	Período Ocupación (días)	Período Descanso (días)	Capacidad Carga	Erosión	Uso plaguicidas	Prácticas Conservación suelo	Tratamiento de excretas	Destino aguas residuales	Densidad de lombrices
	MAX	MIN	MAX	MAX	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX
ALTERNATIVAS	CSA1	CSA2	CSA3	CSA4	CSA5	CSA6	CSA7	CSA8	CSA9	CSA10
A1	0,36980	0,20365	0,14232	0,28144	0,00000	0,20520	0,18570	0,22361	0,13019	0,00000
A2	0,00000	0,13577	0,13554	0,07036	0,00000	0,30779	0,18570	0,22361	0,26038	0,00000
A3	0,27735	0,13577	0,14232	0,28144	0,17678	0,20520	0,18570	0,11180	0,13019	0,82960
A4	0,00000	0,13577	0,29819	0,14072	0,17678	0,30779	0,00000	0,22361	0,13019	0,00000
A5	0,09245	0,20365	0,28464	0,14072	0,00000	0,20520	0,37139	0,22361	0,13019	0,00000
A6	0,27735	0,20365	0,16943	0,14072	0,17678	0,10260	0,37139	0,22361	0,26038	0,15084
A7	0,18490	0,33942	0,24397	0,21108	0,53033	0,20520	0,18570	0,33541	0,26038	0,37709
A8	0,09245	0,20365	0,33885	0,21108	0,17678	0,30779	0,00000	0,11180	0,13019	0,00000
A9	0,36980	0,13577	0,17620	0,28144	0,35355	0,30779	0,18570	0,33541	0,13019	0,00000
A10	0,00000	0,40731	0,20331	0,21108	0,17678	0,30779	0,18570	0,22361	0,13019	0,00000
A11	0,18490	0,13577	0,13554	0,28144	0,53033	0,30779	0,37139	0,11180	0,13019	0,00000
A12	0,27735	0,20365	0,30497	0,28144	0,17678	0,20520	0,18570	0,11180	0,13019	0,22626
A13	0,27735	0,20365	0,20331	0,21108	0,17678	0,20520	0,37139	0,33541	0,13019	0,06788
A14	0,18490	0,27154	0,18976	0,21108	0,17678	0,10260	0,37139	0,22361	0,39057	0,00000
A15	0,27735	0,13577	0,30497	0,28144	0,00000	0,20520	0,18570	0,22361	0,39057	0,00000
A16	0,27735	0,06788	0,27108	0,28144	0,17678	0,30779	0,00000	0,22361	0,13019	0,00000
A17	0,09245	0,33942	0,28464	0,28144	0,17678	0,10260	0,00000	0,22361	0,39057	0,30167
A18	0,36980	0,40731	0,24397	0,28144	0,00000	0,10260	0,18570	0,33541	0,39057	0,00000
TA+	0,36980	0,06788	0,33885	0,28144	0,00000	0,10260	0,37139	0,33541	0,39057	0,82960
TA-	0,00000	0,40731	0,13554	0,07036	0,53033	0,30779	0,00000	0,11180	0,11180	0,00000

Distancia a la ideal positiva										
SUBCRITERIOS	Protección fuentes de agua	Período Ocupación (días)	Período Descanso (días)	Capacidad Carga	Erosión	Uso plaguicidas	Prácticas Conservación suelo	Tratamiento de excretas	Destino aguas residuales	Densidad de lombrices
	MAX	MIN	MAX	MAX	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX
ALTERNATIVAS	CSA1	CSA2	CSA3	CSA4	CSA5	CSA6	CSA7	CSA8	CSA9	CSA10
A1	0,00000	0,00264	-0,00283	0,00000	0,00000	0,00096	-0,00217	-0,00063	-0,00146	-0,00481
A2	-0,01407	0,00132	-0,00292	-0,00293	0,00000	0,00193	-0,00217	-0,00063	-0,00073	-0,00481
A3	-0,00352	0,00132	-0,00283	0,00000	0,00306	0,00096	-0,00217	-0,00126	-0,00146	0,00000
A4	-0,01407	0,00132	-0,00058	-0,00195	0,00306	0,00193	-0,00433	-0,00063	-0,00146	-0,00481
A5	-0,01055	0,00264	-0,00078	-0,00195	0,00000	0,00096	0,00000	-0,00063	-0,00146	-0,00481
A6	-0,00352	0,00264	-0,00244	-0,00195	0,00306	0,00000	0,00000	-0,00063	-0,00073	-0,00393
A7	-0,00703	0,00528	-0,00136	-0,00098	0,00918	0,00096	-0,00217	0,00000	-0,00073	-0,00262
A8	-0,01055	0,00264	0,00000	-0,00098	0,00306	0,00193	-0,00433	-0,00126	-0,00146	-0,00481
A9	0,00000	0,00132	-0,00234	0,00000	0,00612	0,00193	-0,00217	0,00000	-0,00146	-0,00481
A10	-0,01407	0,00660	-0,00195	-0,00098	0,00306	0,00193	-0,00217	-0,00063	-0,00146	-0,00481
A11	-0,00703	0,00132	-0,00292	0,00000	0,00918	0,00193	0,00000	-0,00126	-0,00146	-0,00481
A12	-0,00352	0,00264	-0,00049	0,00000	0,00306	0,00096	-0,00217	-0,00126	-0,00146	-0,00350
A13	-0,00352	0,00264	-0,00195	-0,00098	0,00306	0,00096	0,00000	0,00000	-0,00146	-0,00441
A14	-0,00703	0,00396	-0,00214	-0,00098	0,00306	0,00000	0,00000	-0,00063	0,00000	-0,00481
A15	-0,00352	0,00132	-0,00049	0,00000	0,00000	0,00096	-0,00217	-0,00063	0,00000	-0,00481
A16	-0,00352	0,00000	-0,00097	0,00000	0,00306	0,00193	-0,00433	-0,00063	-0,00146	-0,00481
A17	-0,01055	0,00528	-0,00078	0,00000	0,00306	0,00000	-0,00433	-0,00063	0,00000	-0,00306
A18	0,00000	0,00660	-0,00136	0,00000	0,00000	0,00000	-0,00217	0,00000	0,00000	-0,00481
<b>POTENCIA</b>	<b>2</b>									
<b>(TAK - TA+)^2</b>										
ALTERNATIVAS	CSA1	CSA2	CSA3	CSA4	CSA5	CSA6	CSA7	CSA8	CSA9	CSA10
A1	0,0000000	0,0000070	0,0000080	0,0000000	0,0000000	0,0000009	0,0000047	0,0000004	0,0000021	0,0000231
A2	0,0001978	0,0000017	0,0000085	0,0000086	0,0000000	0,0000037	0,0000047	0,0000004	0,0000005	0,0000231
A3	0,0000124	0,0000017	0,0000080	0,0000000	0,0000094	0,0000009	0,0000047	0,0000016	0,0000021	0,0000000
A4	0,0001978	0,0000017	0,0000003	0,0000038	0,0000094	0,0000037	0,0000188	0,0000004	0,0000021	0,0000231
A5	0,0001113	0,0000070	0,0000006	0,0000038	0,0000000	0,0000009	0,0000000	0,0000004	0,0000021	0,0000231
A6	0,0000124	0,0000070	0,0000059	0,0000038	0,0000094	0,0000000	0,0000000	0,0000004	0,0000005	0,0000155
A7	0,0000495	0,0000279	0,0000019	0,0000010	0,0000843	0,0000009	0,0000047	0,0000000	0,0000005	0,0000069
A8	0,0001113	0,0000070	0,0000000	0,0000010	0,0000094	0,0000037	0,0000188	0,0000016	0,0000021	0,0000231
A9	0,0000000	0,0000017	0,0000055	0,0000000	0,0000375	0,0000037	0,0000047	0,0000000	0,0000021	0,0000231
A10	0,0001978	0,0000436	0,0000038	0,0000010	0,0000094	0,0000037	0,0000047	0,0000004	0,0000021	0,0000231
A11	0,0000495	0,0000017	0,0000085	0,0000000	0,0000843	0,0000037	0,0000000	0,0000016	0,0000021	0,0000231
A12	0,0000124	0,0000070	0,0000002	0,0000000	0,0000094	0,0000009	0,0000047	0,0000016	0,0000021	0,0000122

<b>(TAk - TA+)^2</b>										
<b>A13</b>	0,0000124	0,0000070	0,0000038	0,0000010	0,0000094	0,0000009	0,0000000	0,0000000	0,0000021	0,0000195
<b>A14</b>	0,0000495	0,0000157	0,0000046	0,0000010	0,0000094	0,0000000	0,0000000	0,0000004	0,0000000	0,0000231
<b>A15</b>	0,0000124	0,0000017	0,0000002	0,0000000	0,0000000	0,0000009	0,0000047	0,0000004	0,0000000	0,0000231
<b>A16</b>	0,0000124	0,0000000	0,0000009	0,0000000	0,0000094	0,0000037	0,0000188	0,0000004	0,0000021	0,0000231
<b>A17</b>	0,0001113	0,0000279	0,0000006	0,0000000	0,0000094	0,0000000	0,0000188	0,0000004	0,0000000	0,0000094
<b>A18</b>	0,0000000	0,0000436	0,0000019	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000047	0,0000000	0,0000000	0,0000231
<b>Distancia a la ideal negativa</b>										
SUBCRITERIOS	<i>Protección fuentes de agua</i>	<i>Período Ocupación (días)</i>	<i>Período Descanso (días)</i>	<i>Capacidad Carga</i>	<i>Erosión</i>	<i>Uso plaguicidas</i>	<i>Prácticas Conservación suelo</i>	<i>Tratamiento de excretas</i>	<i>Destino aguas residuales</i>	<i>Densidad de lombrices</i>
	MAX	MIN	MAX	MAX	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX
ALTERNATIVAS	CSA1	CSA2	CSA3	CSA4	CSA5	CSA6	CSA7	CSA8	CSA9	CSA10
<b>A1</b>	0,01407	-0,00396	0,00010	0,00293	-0,00918	-0,00096	0,00217	0,00063	0,00010	0,00000
<b>A2</b>	0,00000	-0,00528	0,00000	0,00000	-0,00918	0,00000	0,00217	0,00063	0,00084	0,00000
<b>A3</b>	0,01055	-0,00528	0,00010	0,00293	-0,00612	-0,00096	0,00217	0,00000	0,00010	0,00481
<b>A4</b>	0,00000	-0,00528	0,00234	0,00098	-0,00612	0,00000	0,00000	0,00063	0,00010	0,00000
<b>A5</b>	0,00352	-0,00396	0,00214	0,00098	-0,00918	-0,00096	0,00433	0,00063	0,00010	0,00000
<b>A6</b>	0,01055	-0,00396	0,00049	0,00098	-0,00612	-0,00193	0,00433	0,00063	0,00084	0,00087
<b>A7</b>	0,00703	-0,00132	0,00156	0,00195	0,00000	-0,00096	0,00217	0,00126	0,00084	0,00218
<b>A8</b>	0,00352	-0,00396	0,00292	0,00195	-0,00612	0,00000	0,00000	0,00000	0,00010	0,00000
<b>A9</b>	0,01407	-0,00528	0,00058	0,00293	-0,00306	0,00000	0,00217	0,00126	0,00010	0,00000
<b>A10</b>	0,00000	0,00000	0,00097	0,00195	-0,00612	0,00000	0,00217	0,00063	0,00010	0,00000
<b>A11</b>	0,00703	-0,00528	0,00000	0,00293	0,00000	0,00000	0,00433	0,00000	0,00010	0,00000
<b>A12</b>	0,01055	-0,00396	0,00244	0,00293	-0,00612	-0,00096	0,00217	0,00000	0,00010	0,00131
<b>A13</b>	0,01055	-0,00396	0,00097	0,00195	-0,00612	-0,00096	0,00433	0,00126	0,00010	0,00039
<b>A14</b>	0,00703	-0,00264	0,00078	0,00195	-0,00612	-0,00193	0,00433	0,00063	0,00157	0,00000
<b>A15</b>	0,01055	-0,00528	0,00244	0,00293	-0,00918	-0,00096	0,00217	0,00063	0,00157	0,00000
<b>A16</b>	0,01055	-0,00660	0,00195	0,00293	-0,00612	0,00000	0,00000	0,00063	0,00010	0,00000
<b>A17</b>	0,00352	-0,00132	0,00214	0,00293	-0,00612	-0,00193	0,00000	0,00063	0,00157	0,00175
<b>A18</b>	0,01407	0,00000	0,00156	0,00293	-0,00918	-0,00193	0,00217	0,00126	0,00157	0,00000

Tabla B-5: aplicación método VIKOR

Subcriterios financieros							
PESO CRITERIOS	0,45						
PESO SUBCRITERIOS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PESOS	0,0934	0,0674	0,0547	0,0547	0,0790	0,0550	0,0505
SUBCRITERIOS	<i>Pxn promedia/año</i>	<i>Costo litro leche</i>	<i>Relación B/C</i>	<i>Margen Bruto</i>	<i>Rentabilidad</i>	<i>Punto de Equilibrio (lt/año)</i>	<i>Costos totales pxn (\$año)</i>
	MAX	MIN	MAX	MAX	MAX	MIN	MIN
ALTERNATIVAS	CSRE1	CSRE2	CSRE3	CSRE4	CSRE5	CSRE6	CSRE9
A1	4.015	1.631	0,59	-2.655.560	-0,17	6.753	6.550.110
A2	9.600	750	1,26	1.872.450	0,40	7.618	7.199.077
A3	5.840	1.399	0,72	-2.270.970	-0,39	8.088	8.169.370
A4	7.373	895	1,03	181.759	0,01	7.175	6.601.401
A5	6.570	1.060	0,91	-655.892	-0,04	7.253	6.963.092
A6	6.497	1.053	0,93	-474.840	-0,09	6.982	6.841.900
A7	6.680	869	1,14	839.362	0,13	5.836	5.806.741
A8	7.300	959	1,03	228.136	0,02	7.070	6.998.864
A9	6.607	983	1,17	1.096.859	0,15	5.652	6.494.009
A10	8.286	750	1,28	1.738.158	0,52	6.475	6.215.922
A11	8.030	720	1,35	2.045.537	0,22	5.932	5.783.713
A12	7.738	795	1,32	1.975.784	0,60	5.856	6.149.116
A13	6.570	1.072	0,92	-568.564	-0,15	7.147	7.040.014
A14	6.278	1.101	0,88	-821.099	-0,14	7.124	6.910.759
A15	6.753	1.083	0,97	-222.346	-0,07	6.964	7.312.471
A16	6.570	784	1,17	893.821	0,08	5.598	5.150.579
A17	6.205	850	1,08	421.958	0,06	5.745	5.274.232
A18	6.570	878	1,09	493.474	0,08	6.052	5.767.736
MEJOR	9.600	720	1,35	2.045.537	0,60	5.598	5.150.579
PEOR	4.015	1.631	0,59	-2.655.560	-0,39	8.088	8.169.370

<b>Calculo de los Si</b>							
	<i>Pxn promedia/año</i>	<i>Costo litro leche</i>	<i>Relación B/C</i>	<i>Margen Bruto</i>	<i>Rentabilidad</i>	<i>Punto de Equilibrio (lt/año)</i>	<i>Costos totales pxn (\$año)</i>
	<i>MAX</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>	<i>MIN</i>	<i>MIN</i>
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>CSRE1</b>	<b>CSRE2</b>	<b>CSRE3</b>	<b>CSRE4</b>	<b>CSRE5</b>	<b>CSRE6</b>	<b>CSRE9</b>
<b>A1</b>	0,09342	0,06744	0,05466	0,05466	0,06127	0,02548	0,02340
<b>A2</b>	0,00000	0,00220	0,00674	0,00201	0,01609	0,04459	0,03425
<b>A3</b>	0,06289	0,05023	0,04548	0,05019	0,07904	0,05498	0,05047
<b>A4</b>	0,03725	0,01296	0,02348	0,02167	0,04695	0,03482	0,02426
<b>A5</b>	0,05068	0,02513	0,03225	0,03141	0,05151	0,03654	0,03030
<b>A6</b>	0,05190	0,02463	0,03046	0,02930	0,05525	0,03054	0,02828
<b>A7</b>	0,04885	0,01103	0,01506	0,01402	0,03743	0,00524	0,01097
<b>A8</b>	0,03847	0,01765	0,02312	0,02113	0,04607	0,03248	0,03090
<b>A9</b>	0,05007	0,01945	0,01330	0,01103	0,03627	0,00118	0,02246
<b>A10</b>	0,02198	0,00222	0,00533	0,00357	0,00609	0,01935	0,01781
<b>A11</b>	0,02626	0,00000	0,00000	0,00000	0,03084	0,00736	0,01058
<b>A12</b>	0,03114	0,00551	0,00233	0,00081	0,00000	0,00569	0,01669
<b>A13</b>	0,05068	0,02600	0,03128	0,03039	0,06041	0,03420	0,03159
<b>A14</b>	0,05556	0,02817	0,03402	0,03333	0,05904	0,03369	0,02943
<b>A15</b>	0,04763	0,02684	0,02766	0,02637	0,05327	0,03016	0,03614
<b>A16</b>	0,05068	0,00471	0,01297	0,01339	0,04167	0,00000	0,00000
<b>A17</b>	0,05679	0,00960	0,01971	0,01888	0,04359	0,00324	0,00207
<b>A18</b>	0,05068	0,01167	0,01931	0,01805	0,04188	0,01002	0,01032

Subcriterios técnicos							
PESO CRITERIOS	0,26						
PESO SUBCRITERIOS	0,18	0,22	0,22	0,07	0,12	0,10	0,08
PESOS	0,05	0,06	0,06	0,02	0,03	0,03	0,02
SUBCRITERIOS	<i>Lt vaca/día</i>	<i>Intervalo entre partos (d)</i>	<i>Días abiertos</i>	<i>Partos hato/año</i>	<i>Certif. tuberc y brucel.</i>	<i>BPG</i>	<i>RI leche/[]</i>
	MAX	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX
ALTERNATIVAS	CSRT1	CSRT2	CSRT3	CSRT4	CSRT5	CSRT6	CSRT7
A1	11,0	447	160	20	2	1	3,0
A2	26,3	410	104	40	2	1	4,0
A3	16,0	442	164	64	2	1	3,3
A4	20,2	412	162	13	1	0	4,0
A5	18,0	382	156	10	1	0	4,5
A6	17,8	387	128	36	1	0	3,8
A7	18,3	425	117	20	2	1	4,0
A8	20,0	427	119	24	2	1	4,0
A9	18,1	465	165	45	2	1	4,0
A10	22,7	443	160	18	1	0	4,2
A11	22,0	433	145	21	1	0	4,2
A12	21,2	395	172	42	0	0	3,7
A13	18,0	391	209	16	2	1	3,5
A14	17,2	452	160	39	2	1	4,0
A15	18,5	405	133	87	2	1	3,8
A16	18,0	521	110	9	1	0	4,0
A17	17,0	390	184	44	1	0	4,5
A18	18,0	430	206	70	1	0	4,5
MEJOR	26,3	382,0	104,0	87,0	2,0	1,0	4,5
PEOR	11,0	521,0	209,0	9,0	0,0	0,0	3,0



<b>Calculo de los Si</b>							
	<i>Lt vaca/día</i>	<i>Intervalo entre partos (d)</i>	<i>Días abiertos</i>	<i>Partos hato/año</i>	<i>Certif. tuberc y brucel.</i>	<i>BPG</i>	<i>RI leche/[]</i>
	<b>MAX</b>	<b>MIN</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>CSRT1</b>	<b>CSRT2</b>	<b>CSRT3</b>	<b>CSRT4</b>	<b>CSRT5</b>	<b>CSRT6</b>	<b>CSRT7</b>
<b>A1</b>	0,04786	0,02757	0,03145	0,01688	0,00000	0,00000	0,01990
<b>A2</b>	0,00000	0,01188	0,00000	0,01184	0,00000	0,00000	0,00663
<b>A3</b>	0,03222	0,02545	0,03370	0,00580	0,00000	0,00000	0,01592
<b>A4</b>	0,01908	0,01273	0,03257	0,01865	0,01538	0,02694	0,00663
<b>A5</b>	0,02596	0,00000	0,02920	0,01940	0,01538	0,02694	0,00000
<b>A6</b>	0,02659	0,00212	0,01348	0,01285	0,01538	0,02694	0,00929
<b>A7</b>	0,02503	0,01824	0,00730	0,01688	0,00000	0,00000	0,00663
<b>A8</b>	0,01971	0,01909	0,00842	0,01588	0,00000	0,00000	0,00663
<b>A9</b>	0,02565	0,03521	0,03426	0,01058	0,00000	0,00000	0,00663
<b>A10</b>	0,01126	0,02588	0,03145	0,01739	0,01538	0,02694	0,00398
<b>A11</b>	0,01345	0,02164	0,02303	0,01663	0,01538	0,02694	0,00398
<b>A12</b>	0,01595	0,00551	0,03819	0,01134	0,03076	0,02694	0,01061
<b>A13</b>	0,02596	0,00382	0,05897	0,01789	0,00000	0,00000	0,01327
<b>A14</b>	0,02847	0,02970	0,03145	0,01210	0,00000	0,00000	0,00663
<b>A15</b>	0,02440	0,00976	0,01629	0,00000	0,00000	0,00000	0,00929
<b>A16</b>	0,02596	0,05897	0,00337	0,01966	0,01538	0,02694	0,00663
<b>A17</b>	0,02909	0,00339	0,04493	0,01084	0,01538	0,02694	0,00000
<b>A18</b>	0,02596	0,02036	0,05728	0,00428	0,01538	0,02694	0,00000

<b>Subcriterios sociales</b>						
<b>PESO CRITERIOS</b>	<i>0,14</i>					
<b>PESO SUBCRITERIOS</b>	<i>0,46</i>	<i>0,20</i>	<i>0,12</i>	<i>0,12</i>	<i>0,06</i>	<i>0,06</i>
<b>PESOS</b>	<b>0,06</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>
<b>SUBCRITERIOS</b>	<i>Calidad de Vida</i>	<i>Relevo Generacional</i>	<i>Consenso Social</i>	<i>Acceso al Mercado</i>	<i>Apoyo Institucional</i>	<i>Facilidad Acceso a Crédito</i>
	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>CSRS1</b>	<b>CSRS3</b>	<b>CSRS4</b>	<b>CSRS5</b>	<b>CSRS6</b>	<b>CSRS7</b>
<b>A1</b>	11,0	1,0	7,0	4,0	9,0	7,0
<b>A2</b>	10,0	1,0	8,0	4,0	10,0	8,0
<b>A3</b>	8,0	1,0	7,0	4,0	9,0	6,0
<b>A4</b>	8,0	0,0	7,0	3,0	10,0	6,0
<b>A5</b>	9,0	0,0	7,0	4,0	8,0	7,0
<b>A6</b>	10,0	0,0	7,0	3,0	10,0	7,0
<b>A7</b>	11,0	1,0	8,0	4,0	9,0	6,0
<b>A8</b>	9,0	1,0	9,0	4,0	10,0	7,0
<b>A9</b>	10,0	1,0	7,0	3,0	9,0	7,0
<b>A10</b>	9,0	1,0	9,0	3,0	10,0	6,0
<b>A11</b>	10,0	1,0	7,0	4,0	8,0	6,0
<b>A12</b>	9,0	1,0	8,0	4,0	10,0	7,0
<b>A13</b>	9,0	1,0	8,0	4,0	9,0	8,0
<b>A14</b>	12,0	1,0	7,0	4,0	9,0	6,0
<b>A15</b>	8,0	1,0	8,0	3,0	8,0	8,0
<b>A16</b>	9,0	1,0	6,0	3,0	9,0	8,0
<b>A17</b>	11,0	0,0	9,0	3,0	10,0	6,0
<b>A18</b>	11,0	0,0	7,0	3,0	10,0	6,0
<b>MEJOR</b>	<b>12,0</b>	<b>1,0</b>	<b>9,0</b>	<b>4,0</b>	<b>10,0</b>	<b>8,0</b>
<b>PEOR</b>	<b>8,0</b>	<b>0,0</b>	<b>6,0</b>	<b>3,0</b>	<b>8,0</b>	<b>6,0</b>

<b>Calculo de los Si</b>						
	<i>Calidad de Vida</i>	<i>Relevo Generacional</i>	<i>Consenso Social</i>	<i>Acceso al Mercado</i>	<i>Apoyo Institucional</i>	<i>Facilidad Acceso a Crédito</i>
	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>CSRS1</b>	<b>CSRS3</b>	<b>CSRS4</b>	<b>CSRS5</b>	<b>CSRS6</b>	<b>CSRS7</b>
<b>A1</b>	0,01614	0,00000	0,01110	0,00000	0,00392	0,00392
<b>A2</b>	0,03228	0,00000	0,00555	0,00000	0,00000	0,00000
<b>A3</b>	0,06456	0,00000	0,01110	0,00000	0,00392	0,00783
<b>A4</b>	0,06456	0,02761	0,01110	0,01665	0,00000	0,00783
<b>A5</b>	0,04842	0,02761	0,01110	0,00000	0,00783	0,00392
<b>A6</b>	0,03228	0,02761	0,01110	0,01665	0,00000	0,00392
<b>A7</b>	0,01614	0,00000	0,00555	0,00000	0,00392	0,00783
<b>A8</b>	0,04842	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00392
<b>A9</b>	0,03228	0,00000	0,01110	0,01665	0,00392	0,00392
<b>A10</b>	0,04842	0,00000	0,00000	0,01665	0,00000	0,00783
<b>A11</b>	0,03228	0,00000	0,01110	0,00000	0,00783	0,00783
<b>A12</b>	0,04842	0,00000	0,00555	0,00000	0,00000	0,00392
<b>A13</b>	0,04842	0,00000	0,00555	0,00000	0,00392	0,00000
<b>A14</b>	0,00000	0,00000	0,01110	0,00000	0,00392	0,00783
<b>A15</b>	0,06456	0,00000	0,00555	0,01665	0,00783	0,00000
<b>A16</b>	0,04842	0,00000	0,01665	0,01665	0,00392	0,00000
<b>A17</b>	0,01614	0,02761	0,00000	0,01665	0,00000	0,00783
<b>A18</b>	0,01614	0,02761	0,01110	0,01665	0,00000	0,00783

Subcriterios ambientales										
PESO CRITERIOS	0,14									
PESO SUBCRITERIOS	0,27	0,14	0,10	0,10	0,12	0,07	0,08	0,04	0,04	0,04
PESOS	0,038	0,019	0,014	0,014	0,017	0,009	0,012	0,006	0,006	0,006
SUBCRITERIOS	Protección y Conservación de fuentes de agua	Período Ocupación (días)	Período Descanso (días)	Capacidad Carga	Erosión	Uso plaguicidas	Prácticas Conservación suelo	Tratamiento de excretas	Destino aguas residuales	Densidad de lombrices
	MAX	MIN	MAX	MAX	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX
ALTERNATIVAS	CSA1	CSA2	CSA3	CSA4	CSA5	CSA6	CSA7	CSA8	CSA9	CSA10
A1	4,0	3,0	21,0	4,0	0,0	2,0	1,0	2,0	1,0	0,0
A2	0,0	2,0	20,0	1,0	0,0	3,0	1,0	2,0	2,0	0,0
A3	3,0	2,0	21,0	4,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	48,9
A4	0,0	2,0	44,0	2,0	1,0	3,0	0,0	2,0	1,0	0,0
A5	1,0	3,0	42,0	2,0	0,0	2,0	2,0	2,0	1,0	0,0
A6	3,0	3,0	25,0	2,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	8,9
A7	2,0	5,0	36,0	3,0	3,0	2,0	1,0	3,0	2,0	22,2
A8	1,0	3,0	50,0	3,0	1,0	3,0	0,0	1,0	1,0	0,0
A9	4,0	2,0	26,0	4,0	2,0	3,0	1,0	3,0	1,0	0,0
A10	0,0	6,0	30,0	3,0	1,0	3,0	1,0	2,0	1,0	0,0
A11	2,0	2,0	20,0	4,0	3,0	3,0	2,0	1,0	1,0	0,0
A12	3,0	3,0	45,0	4,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	13,3
A13	3,0	3,0	30,0	3,0	1,0	2,0	2,0	3,0	1,0	4,0
A14	2,0	4,0	28,0	3,0	1,0	1,0	2,0	2,0	3,0	0,0
A15	3,0	2,0	45,0	4,0	0,0	2,0	1,0	2,0	3,0	0,0
A16	3,0	1,0	40,0	4,0	1,0	3,0	0,0	2,0	1,0	0,0
A17	1,0	5,0	42,0	4,0	1,0	1,0	0,0	2,0	3,0	17,8
A18	4,0	6,0	36,0	4,0	0,0	1,0	1,0	3,0	3,0	0,0
MEJOR	4,0	1,0	50,0	4,0	0,0	1,0	2,0	3,0	3,0	48,9
PEOR	0,0	6,0	20,0	1,0	3,0	3,0	0,0	1,0	1,0	0,0

Calculo de los Si										
	<i>Protección y Conservación de fuentes de agua</i>	<i>Período Ocupación (días)</i>	<i>Período Descanso (días)</i>	<i>Capacidad Carga</i>	<i>Erosión</i>	<i>Uso plaguicidas</i>	<i>Prácticas Conservación suelo</i>	<i>Tratamiento de excretas</i>	<i>Destino aguas residuales</i>	<i>Densidad de lombrices</i>
	<i>MAX</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>	<i>MIN</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>CSA1</b>	<b>CSA2</b>	<b>CSA3</b>	<b>CSA4</b>	<b>CSA5</b>	<b>CSA6</b>	<b>CSA7</b>	<b>CSA8</b>	<b>CSA9</b>	<b>CSA10</b>
<b>A1</b>	0,00000	0,00778	0,01390	0,00000	0,00000	0,00470	0,00583	0,00281	0,00562	0,00579
<b>A2</b>	0,03803	0,00389	0,01438	0,01386	0,00000	0,00940	0,00583	0,00281	0,00281	0,00579
<b>A3</b>	0,00951	0,00389	0,01390	0,00000	0,00577	0,00470	0,00583	0,00562	0,00562	0,00000
<b>A4</b>	0,03803	0,00389	0,00288	0,00924	0,00577	0,00940	0,01166	0,00281	0,00562	0,00579
<b>A5</b>	0,02853	0,00778	0,00383	0,00924	0,00000	0,00470	0,00000	0,00281	0,00562	0,00579
<b>A6</b>	0,00951	0,00778	0,01198	0,00924	0,00577	0,00000	0,00000	0,00281	0,00281	0,00474
<b>A7</b>	0,01902	0,01556	0,00671	0,00462	0,01731	0,00470	0,00583	0,00000	0,00281	0,00316
<b>A8</b>	0,02853	0,00778	0,00000	0,00462	0,00577	0,00940	0,01166	0,00562	0,00562	0,00579
<b>A9</b>	0,00000	0,00389	0,01150	0,00000	0,01154	0,00940	0,00583	0,00000	0,00562	0,00579
<b>A10</b>	0,03803	0,01945	0,00959	0,00462	0,00577	0,00940	0,00583	0,00281	0,00562	0,00579
<b>A11</b>	0,01902	0,00389	0,01438	0,00000	0,01731	0,00940	0,00000	0,00562	0,00562	0,00579
<b>A12</b>	0,00951	0,00778	0,00240	0,00000	0,00577	0,00470	0,00583	0,00562	0,00562	0,00421
<b>A13</b>	0,00951	0,00778	0,00959	0,00462	0,00577	0,00470	0,00000	0,00000	0,00562	0,00532
<b>A14</b>	0,01902	0,01167	0,01055	0,00462	0,00577	0,00000	0,00000	0,00281	0,00000	0,00579
<b>A15</b>	0,00951	0,00389	0,00240	0,00000	0,00000	0,00470	0,00583	0,00281	0,00000	0,00579
<b>A16</b>	0,00951	0,00000	0,00479	0,00000	0,00577	0,00940	0,01166	0,00281	0,00562	0,00579
<b>A17</b>	0,02853	0,01556	0,00383	0,00000	0,00577	0,00000	0,01166	0,00281	0,00000	0,00369
<b>A18</b>	0,00000	0,01945	0,00671	0,00000	0,00000	0,00000	0,00583	0,00000	0,00000	0,00579

Tabla B-6: normalización de subcriterios para calcular indicador de sostenibilidad

Subcriterios financieros							
PESO CRITERIOS	0,45						
PESO SUBCRITERIOS	0,21	0,15	0,12	0,12	0,17	0,12	0,11
PESOS	0,0934	0,0674	0,0547	0,0547	0,0790	0,0550	0,0505
SUBCRITERIOS	<i>Pxn prom-animal/año</i>	<i>Costo litro leche</i>	<i>Relación B/C</i>	<i>Margen Bruto</i>	<i>Rentabilidad</i>	<i>Punto de Equilibrio (lt/año)</i>	<i>Costos total pxn-animal (\$año)</i>
	1	0	1	1	1	0	0
ALTERNATIVAS	CSRE1	CSRE2	CSRE3	CSRE4	CSRE5	CSRE6	CSRE9
A1	4.015	1.631	0,59	-2.655.560	-0,17	6.753	6.550.110
A2	9.600	750	1,26	1.872.450	0,40	7.618	7.199.077
A3	5.840	1.399	0,72	-2.270.970	-0,39	8.088	8.169.370
A4	7.373	895	1,03	181.759	0,01	7.175	6.601.401
A5	6.570	1.060	0,91	-655.892	-0,04	7.253	6.963.092
A6	6.497	1.053	0,93	-474.840	-0,09	6.982	6.841.900
A7	6.680	869	1,14	839.362	0,13	5.836	5.806.741
A8	7.300	959	1,03	228.136	0,02	7.070	6.998.864
A9	6.607	983	1,17	1.096.859	0,15	5.652	6.494.009
A10	8.286	750	1,28	1.738.158	0,52	6.475	6.215.922
A11	8.030	720	1,35	2.045.537	0,22	5.932	5.783.713
A12	7.738	795	1,32	1.975.784	0,60	5.856	6.149.116
A13	6.570	1.072	0,92	-568.564	-0,15	7.147	7.040.014
A14	6.278	1.101	0,88	-821.099	-0,14	7.124	6.910.759
A15	6.753	1.083	0,97	-222.346	-0,07	6.964	7.312.471
A16	6.570	784	1,17	893.821	0,08	5.598	5.150.579
A17	6.205	850	1,08	421.958	0,06	5.745	5.274.232
A18	6.570	878	1,09	493.474	0,08	6.052	5.767.736
Max	9.600	1.631	1,35	2.045.537	0,60	8.088	8.169.370
Min	4.015	720	0,59	-2.655.560	-0,39	5.598	5.150.579

<b>Subcriterios financieros</b>							
<b>SUBCRITERIOS</b>	<i>Pxn promedia/año</i>	<i>Costo litro leche</i>	<i>Relación B/C</i>	<i>Margen Bruto</i>	<i>Rentabilidad</i>	<i>Punto de Equilibrio (lt/año)</i>	<i>Costos totales pxn (\$año)</i>
	<b>MAX</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MIN</b>	<b>MIN</b>
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>CSRE1</b>	<b>CSRE2</b>	<b>CSRE3</b>	<b>CSRE4</b>	<b>CSRE5</b>	<b>CSRE6</b>	<b>CSRE9</b>
<b>A1</b>	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,22480	0,53646	0,53639
<b>A2</b>	1,00000	0,96743	0,87673	0,96318	0,79639	0,18892	0,32142
<b>A3</b>	0,32680	0,25522	0,16788	0,08181	0,00000	0,00000	0,00000
<b>A4</b>	0,60131	0,80784	0,57036	0,60354	0,40597	0,36668	0,51940
<b>A5</b>	0,45752	0,62732	0,41000	0,42536	0,34831	0,33544	0,39959
<b>A6</b>	0,44444	0,63472	0,44266	0,46387	0,30098	0,44455	0,43974
<b>A7</b>	0,47712	0,83639	0,72451	0,74343	0,52650	0,90463	0,78264
<b>A8</b>	0,58824	0,73826	0,57703	0,61341	0,41707	0,40920	0,38774
<b>A9</b>	0,46405	0,71167	0,75659	0,79820	0,54118	0,97854	0,55498
<b>A10</b>	0,76471	0,96713	0,90246	0,93462	0,92293	0,64801	0,64710
<b>A11</b>	0,71895	1,00000	1,00000	1,00000	0,60982	0,86604	0,79027
<b>A12</b>	0,66667	0,91834	0,95737	0,98516	1,00000	0,89645	0,66923
<b>A13</b>	0,45752	0,61447	0,42769	0,44394	0,23571	0,37801	0,37411
<b>A14</b>	0,40523	0,58236	0,37757	0,39022	0,25310	0,38714	0,41693
<b>A15</b>	0,49020	0,60197	0,49403	0,51758	0,32608	0,45149	0,28386
<b>A16</b>	0,45752	0,93010	0,76270	0,75501	0,47281	1,00000	1,00000
<b>A17</b>	0,39216	0,85761	0,63948	0,65464	0,44855	0,94101	0,95904
<b>A18</b>	0,45752	0,82700	0,64680	0,66985	0,47017	0,81778	0,79556

Subcriterios técnicos							
PESO CRITERIOS	0,26						
PESO SUBCRITERIOS	0,18	0,22	0,22	0,07	0,12	0,10	0,08
PESOS	0,0479	0,0590	0,0590	0,0197	0,0308	0,0269	0,0199
SUBCRITERIOS	<i>Lt vaca/día</i>	<i>Intervalo entre partos (d)</i>	<i>Días abiertos</i>	<i>Partos hato/año</i>	<i>Certif. Tuberc y brucel.</i>	<i>BPG</i>	<i>Rel leche/[l]</i>
ALTERNATIVAS	1	0	0	1	1	1	1
A1	CSRT1	CSRT2	CSRT3	CSRT4	CSRT5	CSRT6	CSRT7
A2	11,0	447	160	20	2	1	3,0
A3	26,3	410	104	40	2	1	4,0
A4	16,0	442	164	64	2	1	3,3
A5	20,2	412	162	13	1	0	4,0
A6	18,0	382	156	10	1	0	4,5
A7	17,8	387	128	36	1	0	3,8
A8	18,3	425	117	20	2	1	4,0
A9	20,0	427	119	24	2	1	4,0
A10	18,1	465	165	45	2	1	4,0
A11	22,7	443	160	18	1	0	4,2
A12	22,0	433	145	21	1	0	4,2
A13	21,2	395	172	42	0	0	3,7
A14	18,0	391	209	16	2	1	3,5
A15	17,2	452	160	39	2	1	4,0
A16	18,5	405	133	87	2	1	3,8
A17	18,0	521	110	9	1	0	4,0
A18	17,0	390	184	44	1	0	4,5
ALTERNATIVAS	18,0	430	206	70	1	0	4,5
	26,3	521	209	87	2	1	4,5
	11,0	382	104	9	0	0	3,0



<b>Subcriterios técnicos</b>							
	<i>Lt vaca/día</i>	<i>Intervalo entre partos (d)</i>	<i>Días abiertos</i>	<i>Partos hato/año</i>	<i>Certif. Tuberc y brucel.</i>	<i>BPG</i>	<i>Rel leche/[l]</i>
	<i>MAX</i>	<i>MIN</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>CSRT1</b>	<b>CSRT2</b>	<b>CSRT3</b>	<b>CSRT4</b>	<b>CSRT5</b>	<b>CSRT6</b>	<b>CSRT7</b>
<b>A1</b>	0,00000	0,53237	0,46667	0,14103	1,00000	1,00000	0,00000
<b>A2</b>	1,00000	0,79856	1,00000	0,39744	1,00000	1,00000	0,66667
<b>A3</b>	0,32680	0,56835	0,42857	0,70513	1,00000	1,00000	0,20000
<b>A4</b>	0,60131	0,78417	0,44762	0,05128	0,50000	0,00000	0,66667
<b>A5</b>	0,45752	1,00000	0,50476	0,01282	0,50000	0,00000	1,00000
<b>A6</b>	0,44444	0,96403	0,77143	0,34615	0,50000	0,00000	0,53333
<b>A7</b>	0,47712	0,69065	0,87619	0,14103	1,00000	1,00000	0,66667
<b>A8</b>	0,58824	0,67626	0,85714	0,19231	1,00000	1,00000	0,66667
<b>A9</b>	0,46405	0,40288	0,41905	0,46154	1,00000	1,00000	0,66667
<b>A10</b>	0,76471	0,56115	0,46667	0,11538	0,50000	0,00000	0,80000
<b>A11</b>	0,71895	0,63309	0,60952	0,15385	0,50000	0,00000	0,80000
<b>A12</b>	0,66667	0,90647	0,35238	0,42308	0,00000	0,00000	0,46667
<b>A13</b>	0,45752	0,93525	0,00000	0,08974	1,00000	1,00000	0,33333
<b>A14</b>	0,40523	0,49640	0,46667	0,38462	1,00000	1,00000	0,66667
<b>A15</b>	0,49020	0,83453	0,72381	1,00000	1,00000	1,00000	0,53333
<b>A16</b>	0,45752	0,00000	0,94286	0,00000	0,50000	0,00000	0,66667
<b>A17</b>	0,39216	0,94245	0,23810	0,44872	0,50000	0,00000	1,00000
<b>A18</b>	0,45752	0,65468	0,02857	0,78205	0,50000	0,00000	1,00000

Subcriterios sociales						
PESO CRITERIOS	0,14					
PESO SUBCRITERIOS	0,46	0,20	0,12	0,12	0,06	0,06
PESOS	0,0646	0,0276	0,0167	0,0167	0,0078	0,0078
SUBCRITERIOS	<i>Calidad de Vida</i>	<i>Relevo Generacional</i>	<i>Consenso Social</i>	<i>Acceso Mercado</i>	<i>Apoyo Institucional</i>	<i>Fácil Acceso Crédito</i>
	1	1	1	1	1	1
ALTERNATIVAS	CSRS1	CSRS3	CSRS4	CSRS5	CSRS6	CSRS7
A1	11,0	1,0	7,0	4,0	9,0	7,0
A2	10,0	1,0	8,0	4,0	10,0	8,0
A3	8,0	1,0	7,0	4,0	9,0	6,0
A4	8,0	0,0	7,0	3,0	10,0	6,0
A5	9,0	0,0	7,0	4,0	8,0	7,0
A6	10,0	0,0	7,0	3,0	10,0	7,0
A7	11,0	1,0	8,0	4,0	9,0	6,0
A8	9,0	1,0	9,0	4,0	10,0	7,0
A9	10,0	1,0	7,0	3,0	9,0	7,0
A10	9,0	1,0	9,0	3,0	10,0	6,0
A11	10,0	1,0	7,0	4,0	8,0	6,0
A12	9,0	1,0	8,0	4,0	10,0	7,0
A13	9,0	1,0	8,0	4,0	9,0	8,0
A14	12,0	1,0	7,0	4,0	9,0	6,0
A15	8,0	1,0	8,0	3,0	8,0	8,0
A16	9,0	1,0	6,0	3,0	9,0	8,0
A17	11,0	0,0	9,0	3,0	10,0	6,0
A18	11,0	0,0	7,0	3,0	10,0	6,0
Max	12	1	9	4	10	8
Min	8	0	6	3	8	6

<b>Subcriterios sociales</b>						
<b>SUBCRITERIOS</b>	<i>Calidad de Vida</i>	<i>Relevo Generacional</i>	<i>Consenso Social</i>	<i>Acceso al Mercado</i>	<i>Apoyo Institucional</i>	<i>Facilidad Acceso a Crédito</i>
	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>	<b>MAX</b>
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>CSRS1</b>	<b>CSRS3</b>	<b>CSRS4</b>	<b>CSRS5</b>	<b>CSRS6</b>	<b>CSRS7</b>
<b>A1</b>	0,75000	1,00000	0,33333	1,00000	0,50000	0,50000
<b>A2</b>	0,50000	1,00000	0,66667	1,00000	1,00000	1,00000
<b>A3</b>	0,00000	1,00000	0,33333	1,00000	0,50000	0,00000
<b>A4</b>	0,00000	0,00000	0,33333	0,00000	1,00000	0,00000
<b>A5</b>	0,25000	0,00000	0,33333	1,00000	0,00000	0,50000
<b>A6</b>	0,50000	0,00000	0,33333	0,00000	1,00000	0,50000
<b>A7</b>	0,75000	1,00000	0,66667	1,00000	0,50000	0,00000
<b>A8</b>	0,25000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,50000
<b>A9</b>	0,50000	1,00000	0,33333	0,00000	0,50000	0,50000
<b>A10</b>	0,25000	1,00000	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
<b>A11</b>	0,50000	1,00000	0,33333	1,00000	0,00000	0,00000
<b>A12</b>	0,25000	1,00000	0,66667	1,00000	1,00000	0,50000
<b>A13</b>	0,25000	1,00000	0,66667	1,00000	0,50000	1,00000
<b>A14</b>	1,00000	1,00000	0,33333	1,00000	0,50000	0,00000
<b>A15</b>	0,00000	1,00000	0,66667	0,00000	0,00000	1,00000
<b>A16</b>	0,25000	1,00000	0,00000	0,00000	0,50000	1,00000
<b>A17</b>	0,75000	0,00000	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
<b>A18</b>	0,75000	0,00000	0,33333	0,00000	1,00000	0,00000

Subcriterios ambientales										
PESO CRITERIOS	0,14									
PESO SUBCRITERIOS	0,27	0,14	0,10	0,10	0,12	0,07	0,08	0,04	0,04	0,04
PESOS	0,0380	0,0195	0,0144	0,0139	0,0173	0,0094	0,0117	0,0056	0,0056	0,0058
SUBCRITERIOS	Prot y Coser fuentes de agua	Período Ocupación (días)	Período Descanso (días)	Capacidad Carga	Erosión	Uso plaguicidas	Prácticas Conser. suelo	Trato de excretas	Destino aguas residuales	Densidad de lombrices
	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1
ALTERNATIVAS	CSA1	CSA2	CSA3	CSA4	CSA5	CSA6	CSA7	CSA8	CSA9	CSA11
A1	4,0	3,0	21,0	4,0	0,0	2,0	1,0	2,0	1,0	0,0
A2	0,0	2,0	20,0	1,0	0,0	3,0	1,0	2,0	2,0	0,0
A3	3,0	2,0	21,0	4,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	48,9
A4	0,0	2,0	44,0	2,0	1,0	3,0	0,0	2,0	1,0	0,0
A5	1,0	3,0	42,0	2,0	0,0	2,0	2,0	2,0	1,0	0,0
A6	3,0	3,0	25,0	2,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	8,9
A7	2,0	5,0	36,0	3,0	3,0	2,0	1,0	3,0	2,0	22,2
A8	1,0	3,0	50,0	3,0	1,0	3,0	0,0	1,0	1,0	0,0
A9	4,0	2,0	26,0	4,0	2,0	3,0	1,0	3,0	1,0	0,0
A10	0,0	6,0	30,0	3,0	1,0	3,0	1,0	2,0	1,0	0,0
A11	2,0	2,0	20,0	4,0	3,0	3,0	2,0	1,0	1,0	0,0
A12	3,0	3,0	45,0	4,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	13,3
A13	3,0	3,0	30,0	3,0	1,0	2,0	2,0	3,0	1,0	4,0
A14	2,0	4,0	28,0	3,0	1,0	1,0	2,0	2,0	3,0	0,0
A15	3,0	2,0	45,0	4,0	0,0	2,0	1,0	2,0	3,0	0,0
A16	3,0	1,0	40,0	4,0	1,0	3,0	0,0	2,0	1,0	0,0
A17	1,0	5,0	42,0	4,0	1,0	1,0	0,0	2,0	3,0	17,8
A18	4,0	6,0	36,0	4,0	0,0	1,0	1,0	3,0	3,0	0,0
	4	6	50	4	3	3	2	3	3	48,9
	0	1	20	1	0	1	0	1	1	0,0

<b>Subcriterios ambientales</b>										
	<i>Protección y Conservac. de fuentes de agua</i>	<i>Período Ocupación (días)</i>	<i>Período Descanso (días)</i>	<i>Capacidad Carga</i>	<i>Erosión</i>	<i>Uso plaguicidas</i>	<i>Prácticas Conservación suelo</i>	<i>Tratamiento de excretas</i>	<i>Destino aguas residuales</i>	<i>Densidad de lombrices</i>
	<i>MAX</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>	<i>MIN</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>	<i>MAX</i>
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>CSA1</b>	<b>CSA2</b>	<b>CSA3</b>	<b>CSA4</b>	<b>CSA5</b>	<b>CSA6</b>	<b>CSA7</b>	<b>CSA8</b>	<b>CSA9</b>	<b>CSA11</b>
<b>A1</b>	1,00000	0,60000	0,03333	1,00000	1,00000	0,50000	0,50000	0,50000	0,00000	0,00000
<b>A2</b>	0,00000	0,80000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,50000	0,50000	0,50000	0,00000
<b>A3</b>	0,75000	0,80000	0,03333	1,00000	0,66667	0,50000	0,50000	0,00000	0,00000	1,00000
<b>A4</b>	0,00000	0,80000	0,80000	0,33333	0,66667	0,00000	0,00000	0,50000	0,00000	0,00000
<b>A5</b>	0,25000	0,60000	0,73333	0,33333	1,00000	0,50000	1,00000	0,50000	0,00000	0,00000
<b>A6</b>	0,75000	0,60000	0,16667	0,33333	0,66667	1,00000	1,00000	0,50000	0,50000	0,18182
<b>A7</b>	0,50000	0,20000	0,53333	0,66667	0,00000	0,50000	0,50000	1,00000	0,50000	0,45455
<b>A8</b>	0,25000	0,60000	1,00000	0,66667	0,66667	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
<b>A9</b>	1,00000	0,80000	0,20000	1,00000	0,33333	0,00000	0,50000	1,00000	0,00000	0,00000
<b>A10</b>	0,00000	0,00000	0,33333	0,66667	0,66667	0,00000	0,50000	0,50000	0,00000	0,00000
<b>A11</b>	0,50000	0,80000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000
<b>A12</b>	0,75000	0,60000	0,83333	1,00000	0,66667	0,50000	0,50000	0,00000	0,00000	0,27273
<b>A13</b>	0,75000	0,60000	0,33333	0,66667	0,66667	0,50000	1,00000	1,00000	0,00000	0,08182
<b>A14</b>	0,50000	0,40000	0,26667	0,66667	0,66667	1,00000	1,00000	0,50000	1,00000	0,00000
<b>A15</b>	0,75000	0,80000	0,83333	1,00000	1,00000	0,50000	0,50000	0,50000	1,00000	0,00000
<b>A16</b>	0,75000	1,00000	0,66667	1,00000	0,66667	0,00000	0,00000	0,50000	0,00000	0,00000
<b>A17</b>	0,25000	0,20000	0,73333	1,00000	0,66667	1,00000	0,00000	0,50000	1,00000	0,36364
<b>A18</b>	1,00000	0,00000	0,53333	1,00000	1,00000	1,00000	0,50000	1,00000	1,00000	0,00000

**Tabla B-7:** análisis de varianza para indicadores de sostenibilidad

Min	1Q	Median	3Q	Max
-3.071e-06	-1.202e-06	-2.030e-08	1.342e-06	3.768e-06
<b>Coeficientes</b>				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
<b>(Intercepto)</b>	-1.069e-05	5.863e-06	-1.823	0.0913
<b>ISDF</b>	4.000e-01	2.758e-05	14503.800	<2e-16 ***
<b>ISDT</b>	3.001e-01	4.068e-05	7376.232	<2e-16 ***
<b>ISDS</b>	2.000e-01	2.230e-05	8968.418	<2e-16 ***
<b>ISDA</b>	9.999e-02	3.150e-05	3174.132	<2e-16 ***
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Residual standard error: 2.369e-06 on 13 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 1, Adjusted R-squared: 1				
F-statistic: 3.062e+08 on 4 and 13 DF, p-value: < 2.2e-16				

**Tabla B-8:** análisis de varianza para coeficiente de Pearson

<b>IISLE</b>	1.0000000	-0.8891638	-0.9640597	0.7910206
<b>TOPSIS</b>	-0.8891638	1.0000000	0.8654111	-0.8188336
<b>VIKOR</b>	-0.9640597	0.8654111	1.0000000	-0.7413414
<b>AHP</b>	0.7910206	-0.8188336	-0.7413414	1.0000000
Coefficients:				
<b>(Intercept)</b>	<b>TOPSIS</b>	<b>VIKOR</b>	<b>AHP</b>	
0.68633	-0.07957	-0.31144	0.93193	
Residuals:				
<b>Min</b>	<b>1Q</b>	<b>Median</b>	<b>3Q</b>	<b>Max</b>
-0.045513	-0.019004	-0.000887	0.010731	0.041941
Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.68633	0.07624	9.003	3.38e-07 ***
TOPSIS	-0.07957	0.08498	-0.936	0.365
VIKOR	-0.31144	0.05125	-6.077	2.85e-05 ***
AHP	0.93193	0.88019	1.059	0.308
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Residual standard error: 0.02621 on 14 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 0.9457, Adjusted R-squared: 0.9341				
F-statistic: 81.34 on 3 and 14 DF, p-value: 4.246e-09				

Tabla B-9: Criterio ACAIQUE

CRITERIO AIC (ACAIQUE) SUBCRITERIOS FINANCIEROS					CRITERIO AIC (ACAIQUE) SUBCRITERIOS TECNICOS				
	Df	Suma cuadrados	RSS	AIC		Df	Suma cuadrados	RSS	AIC
<b>Ninguno</b>			<b>3.4000e-08</b>	<b>-345.64</b>	<b>Ninguno</b>			<b>0.0000006</b>	<b>-293.87</b>
ScF6	1	9.0000e-09	4.3000e-08	-343.53	ScT7	1	0.0000009	0.0000015	-279.26
ScF9	1	2.1000e-08	5.5000e-08	-338.85	ScT6	1	0.0000221	0.0000227	-230.52
ScF1	1	1.5800e-07	1.9200e-07	-316.46	ScT5	1	0.0000251	0.0000257	-228.28
ScF4	1	1.7600e-07	2.1000e-07	-314.79	ScT2	1	0.0001171	0.0001177	-200.88
ScF3	1	7.8610e-06	7.8950e-06	-249.51	ScT3	1	0.0002609	0.0002615	-186.51
ScF5	1	2.8560e-05	2.8594e-05	-226.35	ScT1	1	0.0003285	0.0003291	-182.37
ScF2	1	9.2709e-05	9.2743e-05	-205.17	ScT4	1	0.0037861	0.0037867	-138.40
CRITERIO AIC (ACAIQUE) SUBCRITERIOS SOCIALES					CRITERIO AIC (ACAIQUE) SUBCRITERIOS AMBIENTALES				
	Df	Suma cuadrados	RSS	AIC		Df	Suma cuadrados	RSS	AIC
<b>Ninguno</b>			<b>0.00000000</b>	<b>-449.72</b>	<b>Ninguno</b>			<b>0.00000000</b>	<b>-387.35</b>
ScS7	1	0.00000023	0.00000023	-315.31	ScA6	1	0.00000003	0.00000003	-341.96
ScS6	1	0.00000121	0.00000121	-285.26	ScA9	1	0.00000197	0.00000197	-268.50
ScS5	1	0.00001191	0.00001191	-244.11	ScA1	1	0.00000518	0.00000519	-251.07
ScS4	1	0.00004982	0.00004982	-218.36	ScA4	1	0.00002862	0.00002862	-220.33
ScS1	1	0.00055417	0.00055417	-174.99	ScA3	1	0.00008485	0.00008485	-200.77
ScS3	1	0.00250468	0.00250468	-147.84	ScA5	1	0.00011014	0.00011014	-196.07
					ScA2	1	0.00015960	0.00015960	-189.40
					ScA3	1	0.00025887	0.00025887	-180.69
					ScA5	1	0.00044303	0.00044303	-171.02
					ScA2	1	0.00111186	0.00111186	-154.46





## **C. Anexo: Proceso de implementación del modelo propuesto**

### A DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA IMPLEMENTAR LOS MÉTODOS PROPUESTOS PARA ANALIZAR SOSTENIBILIDAD EN LECHERÍA ESPECIALIZADA

Con el fin de implementar el modelo propuesto en el estudio de investigación “Modelo de análisis de Sostenibilidad en lechería especializada, el cual consiste, en combinar y comparar métodos de decisión multicriterio y un indicador integral de sostenibilidad, se plantea a continuación el procedimiento que se debe seguir en los sistemas productivos que lo deseen implementar.

1. Se debe contar con toda la información primaria necesaria (ver formato de entrevista semiestructurada) para poder construir una base de datos completa a nivel económico-financiero, técnico, social y ambiental.
2. Con la información económica financiera se deberán estructurar los costos de producción de acuerdo a la metodología de centros de responsabilidades, la cual se deberá estar actualizando:
  - 2.1 Estructurar un centro de inversiones, con el fin de determinar el costo de la inversión en praderas, el costo de los animales en producción, el costo de la infraestructura de ordeño, equipo de ordeño, tanque de almacenamiento de leche, establos, el tanque para recolección de excretas y desechos para el compostaje y que servirá para ser incorporado en los potreros como fertilización.
  - 2.2 Estructurar un centro de costos en praderas, para determinar allí, la cantidad de producción de materia verde (MV) por hectárea y el costo de producción por kilogramo de MV.

- 2.3 Estructurar un centro de utilidades en producción, con el fin de determinar el costo por litro de leche y el valor de los nacimientos.
  - 2.4 Estructurar un centro de costos de cría y levante, con el fin de determinar el valor de las novillas que entrarán al primer parto y a producción.
  - 2.5 Recopilada toda esta información anterior, se determinarán cada uno de los subcriterios a analizar: costo de producción por litro de leche, costo de producción por animal, ingresos netos, márgenes de utilidad, rentabilidad, punto de equilibrio, margen de seguridad, entre otras.
3. Para tener acceso a la información técnica, cada finca deberá tener una base de datos actualizada permanentemente, con todos los registros productivos y reproductivos de cada uno de los animales que están en producción, con el fin de garantizar información exacta y fidedigna para calcular todos los parámetros reproductivos de cada animal.
  4. La información actualizada a nivel social, permitirá realizar un seguimiento continuo y permanente a cada una de las variables y según la escala de percepción definida en la entrevista semiestructurada, es posible ir ajustando y retroalimentando esta información, incluso, de acuerdo a las posibilidades de cada productor particular, se podrían considerar otras variables.
  5. Para construir la base de datos ambiental, se debe recopilar toda la información que según la entrevista semiestructurada considera, para determinar cada uno de los parámetros ambientales necesarios. Esta información deberá ser actualizada permanentemente con observaciones directamente en campo, y medidas con las diferentes escalas establecidas, para poder conocer la evolución del comportamiento de estas variables.
  6. Una vez determinadas todas las variables a considerar en cada una de las dimensiones analizadas, se debe proceder a normalizarlas, con el fin, de analizarlas bajo una misma escala de medida.
  7. Se continúa con la priorización de los criterios, que para el caso del estudio, se adoptó las dimensiones económica-financiera, técnica, social y ambiental, como los criterios y dentro de cada criterio, los subcriterios relacionados. En este paso, existen varias

metodologías que se han implementado para determinar la importancia de criterios y subcriterios. En este estudio se recomienda, utilizar la combinación de un juicio de expertos en estas áreas y el método de decisión multicriterio, proceso analítico jerárquico (AHP, del inglés Analytic Hierarchy Process).

8. Implementación de métodos multicriterio: luego de priorizar criterios y subcriterios, se procede a implementar los métodos de decisión multicriterio a comparar en este estudio, con el fin de determinar la sostenibilidad del sistema productivo a analizar: proceso analítico jerárquico (AHP, del inglés Analytic Hierarchy Process), técnica para el orden de preferencia por similitud a solución ideal (TOPSIS, del inglés Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) y el método de optimización multidisciplinar y solución de compromiso (VIseKriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje, VIKOR)
9. Calculo del indicador integral, con la priorización de criterios y subcriterios obtenidos en el paso 7, se determinan los indicadores económico-financiero, técnico, social y ambiental, para posteriormente integrar estos cuatro indicadores en un solo indicador, con el fin de determinar la sostenibilidad del sistema productivo a evaluar.
10. Con el fin de determinar la confiabilidad en la implementación de los diferentes métodos utilizados para analizar la sostenibilidad en sistemas de producción lechera, se realiza un análisis de correlación múltiple.

## Bibliografía

- Aguilar, C., Cortés, H., & Allende, R. (2002). Los Modelos de Simulación. Una herramienta de apoyo a la Gestión Pecuaria. . *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 10(3), 226-231.
- Aguilera, M., Bruna, G., Brzonic, F., & Cerda, R. (2003). *Fundamentos en Gestión para Productos Agropecuarios: Tópicos y Estudios de Casos Consensuados por Universidades Chilenas* . Programa de Gestión Agropecuaria de Fundación Chile.
- Aldana, V. C. (1996). Productividad y Rentabilidad en Sistemas de Producción de Leche en Colombia. (C. d. CEGA, Ed.) *Coyuntura Colombiana*, 13(2B), 245-266.
- Allende, R., & Aguilar, C. (2007). Gestión en Sistemas de Producción Bovina y Ovina de carne: Herramientas computacionales para diseñar y evaluar escenarios productivos. . *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 15(1), 120-126.
- Álvarez, C. A., & Sánchez, Z. B. (2011). *Costos, sistemas de costeo y su aplicación al sector Agropecuario* . Medellín, Colombia.
- Arias, J., Balcázar, A., & Hurtado, R. (1996). Sistemas de Producción Bovina en Colombia . 13(2B):209-243. (C. d. CEGA, Ed.) *Coyuntura Colombiana*, 13(2B), 209-243.
- Arias-Reverón, J., Calvo, C., Chaves, N., Granados, M., Hernández, R. J., Uribe-Lorío, L., & WingChing-Jones, R. (2012). Uso de indicadores para determinar la sostenibilidad de tres proyectos productivos de universidades en. *Cuadernos de Investigación UNED*, 4(2), 203-2012.
- AsoJersey. (2020). *Bondades productivas de la raza Jersey*. Medellín.
- Astier, M., Maser, O., & Galván-Miyoshi, Y. (2008). *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional*. (F. I. Sustentable, Ed.) España: Mundiprensa. Obtenido de [http://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook\\_file/9788461256419.pdf](http://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook_file/9788461256419.pdf)

- Barcellos de P., L. (2010). *Modelos de Gestión aplicados a la Sostenibilidad Empresarial* (Vol. Tesis doctoral). Universidad de Barcelona.
- Barrios, D., & Olivera, M. (2013). Análisis de la competitividad del sector lechero: Caso aplicado al norte de Antioquia, Colombia. *Innovar*, 23, 33-42.
- Barrios, D., Restrepo, F. J., & Cerón, M. F. (2016). Antecedentes sobre gestión tecnológica como estrategia de competitividad en el sector lechero colombiano. *Livestock Research for Rural Development*, 28(7), 125.
- Barrios, D., Restrepo, F., & Cerón, M. (2020). Desempeño empresarial en la industria lechera. *Suma de Negocios*, 11(25), 180-185. doi:<http://doi.org/10.14349/sumneg/2020>.
- Beer, H. A., & Micheli, P. (2018). Advancing performance measurement theory by focusing on subjects: Lessons from the measurement. *International Journal of Management*, 20(3), 755-771.
- Bélanger, V., Vanasse, A., Parent, D., Allard, G., & Pellerin, D. (2012). Development of agri-environmental indicators to assess dairy farm sustainability in Quebec, Eastern Canada. *Ecological Indicators*, 23, 421-430. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/257592600\\_](https://www.researchgate.net/publication/257592600_)
- Belton, V., & Stewart, T. (2003). Multiple criteria decision analysis. *Integrated Approach*.
- Bermejo G., R. (2018). Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomimesis. 60p. Bilbao. Obtenido de <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/>
- Bolívar, H. (2011). Metodologías e indicadores de evaluación de sistemas agrícolas hacia el desarrollo sostenible . *CICAG*, 8(1), 1-18. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/2746/274619739001.pdf>
- Bontkes, T., & Van Keulen, H. (2003). Modelling the dynamics of agricultural development at farm and regional level. *Agricultural System* , 76, 379–396.
- Cabrera, V. E., Breuer, N. E., Hildebrand, P. E., & Letson, D. (2005). The dynamic North Florida dairy farm model: A user-friendly computerized tool for increasing profits while minimizing N leaching under varying climatic conditions. *Computers and Electronics in Agriculture*, 49, 286-308.
- Candelaria M., B., Ruiz R., O., Gallardo L., F., Pérez H., P., Martínez B., A., & Vargas V., L. (2011). Aplicación de Modelos de Simulación en el estudio y planificación de la Agricultura, una revisión. 14: 999-1. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 999-1010.

- Carmona, J. C., Bolívar, D. M., & Giraldo, L. A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1), 49-63.
- Carreño Melendez, F., & Carrasco Aquino, R. J. (2015). *Epistemología de la Sustentabilidad*. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México: Centro de Estudios e Investigación en Desarrollo Sustentable. Obtenido de <http://www.uaemex.mx/>
- Carulla, J., & Ortega, E. (2016). Sistemas de producción lechera en Colombia: retos y oportunidades. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 24(2), 83-87. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/317017699>
- Casas, E., & Tewolde, A. (2001). Evaluación de Características relacionadas con la Eficiencia Reproductiva de genotipos criollos en el Trópico Húmedo. (C. A. Enseñanza, Ed.) *Archivos Latinoamericanos Producción Animal*, 9(2), 68-73.
- Castellini, C., Boggia, A., C., C., Dal Bosco, A., Paolotti, L., Novelli, E., & Mugnai, C. (2012). A multicriteria approach for measuring the sustainability of different poultry production systems. *Journal of Cleaner Production*, 37, 192-201.
- CENTRO DE ESTUDIOS GANADEROS Y AGRICOLAS (CEGA) . (1989). *Caracterización y evaluación de los sistemas de producción bovina en Colombia*. Misión de Estudios del Sector Agropecuario, Departamento Nacional de Planeación, Bogotá.
- CEPAL-FAO-IICA. (2018). Perspectivas de la Agricultura y el desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2017-2018. . Obtenido de <http://www.fao.org/3/i8048es/i8048ES.pdf>
- Chand, P., Sirohi, S., & Sirohi, S. (2015). Development and application of an integrated sustainability index for small-holder dairy farms in Rajasthan, India. *Ecological Indicators*, 56, 23-30. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.020>
- Chou, J.-S., Anh-Duc, P., & Wang, H. (2013). Bidding strategy to support decision-making by integrating fuzzy AHP and regression-based simulation. , 35,. *Automation in Construction*, 35, 517-527.
- Christensen, T., Olsen, S., Dubgaard, A., & Kærgård, N. (2012). Organic farming and multi-criteria decisions: An economic survey. *Institute of Food and Resource Economics*. Obtenido de <http://orgprints.org/21358/4/21358.pdf>.
- CIAT. (2020). COVID-19 y el Sector Ganadero Bovino en Colombia: Desarrollos actuales y potenciales, impactos y opciones de mitigación. *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Alianza Bioversity International*, 36pp. Obtenido de [http:// www.ciat.cgiar.org](http://www.ciat.cgiar.org)

- Cinelli, M., Coles, S. R., & Kirwan, K. (2014). Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. *Ecological Indicators*, 46, 138–148.
- Claverias. (2000). Agroecología y desarrollo rural sostenible. (CIDES-UMSA, Ed.) *Revista del progreso en ciencias del desarrollo*(8).
- Cornell, U. d. (2022). *Cornell University*. Obtenido de Nutrient Management Spear Program:  
<http://nmsp.cals.cornell.edu/NYOnFarmResearchPartnership/DairySustainabilityIndicators.html>
- Cortés M, H. G., & Peña R, J. I. (2015). De la sostenibilidad a la sustentabilidad. Modelo de desarrollo sustentable para su implementación en políticas y proyectos. *Escuela de Administración de Negocios*(78), 40-54. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=20640430004>
- Cuenca J., N. J., Chavarro M., F., & Diaz G., H. O. (2008). El Sector de Ganadería Bovina en Colombia. Aplicación de Modelos de series de tiempo al inventario ganadero. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 8(1), 165-177.
- De Felice, F., & Petrillo, A. (2013). Multi-criteria decision making: A mechanism design technique for sustainability. *Mechanism design for sustainability: Techniques and cases*, 15-35.
- De Olden, E. M., Sautier, M., & Whitehead, J. (2018). Comprehensiveness or implementation: Challenges in translating farm-level sustainability assessments into action for sustainable development. *Ecological Indicators*, 85, 1107-1112. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.058>
- Declaración de Estocolmo, Principio 2. (junio de 1972). Obtenido de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/TratInt/Derechos%20Humanos/INST%2005.pdf>
- Deponti, C. M., Eckert, C., & Azambuja, J. (2002). Estratégias para Construção de Indicadores para Avaliação de Sustentabilidade e Monitoramento de Sistemas. , Brasil. 3 (4): 44-52. *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável.*, 3(4), 44-52.
- Díaz M., L. G. (2007). *Estadística Multivariada, Inferencia y Métodos* (segunda ed.). (U. N. Ciencias, Ed.) Bogotá.
- Diaz-Balteiro, L., Belavenutti, P., Ezquerro, M., Gonzalez-Pachón, J., Ribeiro-Nobre, S., & Romero, C. (2018). Measuring the sustainability of a natural system by using multicriteria distance function methods: Some critical issues. *Journal of*

- Environmental Management*, 214, 197-203. Obtenido de <http://www.elsevier.com/locate/jenvman>
- Díaz-Balteiro, L., González-Pachón, J., & Romero, C. (2017). Measuring systems sustainability with multi-criteria methods: A critical review. *European Journal of Operational Research*, 258, 607–616. Obtenido de <http://www.elsevier.com/locate/ejor>
- Dixon, J., Gulliver, A., & Gibbon, D. (2001). Farming Systems and Poverty: Improving Farmers Livelihoods in a Changing World . *FAO and World Bank*. Obtenido de <http://www.fao.org/htm>
- Dogliotti, S., Van Ittersum, M., & Rossing, W.A.H. (2005). A method for exploring sustainable development options at farm scale: a case study for vegetable farms in South Uruguay, . *Agricultural System*, 86, 29-51.
- Estrada, R. D., & Holmann, F. (2008). Competitividad de la producción de leche frente a los Tratados de Libre Comercio en Nicaragua, Costa Rica y Colombia. *Centro Internacional de Agricultura Tropical*, 79p.
- European Commission. (2005). Impact assessment Guidelines. *15th of June 2005 with March 2006 Update, SEC 791*.
- Falconi, F., & Burbano, R. (2004). Instrumentos económicos para la gestión ambiental: decisiones monocriteriales versus decisiones multicriteriales. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica.*, 1, 11-20.
- FAO. (2020a). Mitigating the Impacts of COVID-19 on the Livestock sector. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*, 6pp. Obtenido de <https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca8799en>
- FEDEGAN. (2015). Importancia de Modernizar las Lecherías: solo se conquistan mercados si hay integración entre productores, industria y Estado. *Carta FEDEGAN* (159), 19p.
- FEDEGAN. (2020). *Balance y Perspectivas del Sector Ganadero Colombiano (2019-2020)*. Oficina de Planeación y Estudios Económicos, Bogotá.
- FEDEGAN. (2021). La salvaguardia lechera protegiendo a nuestros productores. *Carta Ganadera*, 9(19), 9-19. Obtenido de <https://www.fedegan.org.co/cuaderno-ganadero-ano-9-19>
- Fernández L., F. (2005). Indicadores de Sostenibilidad y Medio Ambiente: Métodos y Escala. *Consejería de Medio Ambiente*, 240p.



- Fernández, B. G., & Escribano, R. M. (2011). La Ayuda a la Decisión Multicriterio: orígenes, evolución y situación actual,. *VI Congreso Internacional de Historia de la Estadística y de la Probabilidad*. Valencia.
- Fernández, G., Gómez-Limón, J., & López, J. (2010). 2010. "Análisis de La Sostenibilidad Agraria Mediante Indicadores Sintéticos 1. *Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural*, 1-21. Obtenido de <http://www.sober.org.br/palestra/15/430.pdf>
- Ferreira, L., Borenstein, D., & Santi, E. (2016). Hybrid fuzzy MAD Mranking procedure for better alternative discrimination. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 50, 71-82. Obtenido de [www.elsevier.com/locate/engappai](http://www.elsevier.com/locate/engappai)
- Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott, M. (2005). Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys . *Conference Proceedings.*, (pág. 107 p.).
- Franco, J. A., Gaspar, P., & Mesias, F. J. (2012). Economic analysis of scenarios for the sustainability of extensive livestock farming in Spain under the CAP. *Ecological Economics*, 74, 120-129.
- Fumagalli, M., Acutis, M., Mazzetto, F., Vidotto, F., Sali, G., & Bechini, L. (2011). An analysis of agricultural sustainability of cropping systems in arable and dairy farms in an intensively cultivated plain. *European Journal of Agronomy*, 34, 71-82. Obtenido de [www.elsevier.com/locate/eja](http://www.elsevier.com/locate/eja)
- Gallardo, Y., & Moreno, A. (1999). Recolección de la información. Modulo 3. *Serie Aprender a Investigar, Tercera edición*, 152p. (I. INSTITUTO COLOMBIANO PARA EL FOMENTO DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR, Ed.) Santafe de Bogota, Colombia.
- Gallopín, G. (2003). Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico. (P. N. Caribe", Ed.) *Medio Ambiente y Desarrollo*. Obtenido de <http://www.repositorio.cepal.org>
- Galván-Miyoshi, Y., Masera, O., & López-Ridaura, S. (2008). Las Evaluaciones de Sustentabilidad. *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional*, Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable , 201p. España: Mundiprensa. Obtenido de [http://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook\\_file/9788461256419.pdf](http://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook_file/9788461256419.pdf)
- Gan, X., Fernández, I., Guo, J., Wilson, M., Zhao, Y., Zhou, B., & Wu, J. (2017). When to use what: Methods for weighting and aggregating sustainability indicators. *Ecological Indicators*, 81, 491-502. Obtenido de [www.elsevier.com/locate/ecolind](http://www.elsevier.com/locate/ecolind)
- García S., O. (1999). *Administración financiera: Fundamentos y Aplicaciones*.

- Giorgis, A. (2009). Factores que afectan la competitividad de las empresas agropecuarias de la zona norte de la Provincia de la Pampa (Argentina). *Departamento de Producción Animal. Universidad de Córdoba*, 230p. Córdoba.
- Goodland, R. (2002). Sustainability: Human, Social, Economic and Environmental , 3 p. *Encyclopedia of Global Environmental Change*, 3p.
- Goodland, R., & Daly, H. E. (1994). *Desarrollo Económico Sostenible; Avances sobre el Informe Brundtland*. , Colombia. 185 p. Santafé de Bogotá: Ediciones Uniandes.
- Hajian, M., & Kashani, S. J. (2021). Evolution of the concept of sustainability. From Brundtland Report to sustainable development goals. En C. Mustansar H., & J. F. Velasco-Muñoz, *Sustainable Resource Management*, (págs. 1-24). doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824342-8.00018-3>.
- Huang, I. B., Keisler, J., & Linkov, I. (2011). Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: ten years of applications and trends. *Science of the Total Environment*, 409, 3578-3594.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making* . Springer Ed.
- Janeiro, L., & Patel, M. K. (2015). Choosing sustainable technologies. Implications of the underlying sustainability paradigm in the decision-making process. *Journal of Cleaner Production*, 105, 438–446.
- Jingzhu, W., & Xiangyi, L. (2008). The Multiple Attribute Decision-Making VIKOR Method and its Application. *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WICOM '08. Presented at the Wireless Communications, Networking 4th International Conference*, (págs. 1-4).
- Kocjančič, T., Debeljak, M., Žgajnar, J., & Juvančič, L. (2018). Incorporation of emergy into multiple-criteria decision analysis for sustainable and resilient structure of dairy farms in Slovenia. *Agricultural Systems*, 164, 71-83. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.03.005>
- Lengua, C. W., Ortiz, T. S., Valverde, L. E., García, A. Y., & Cantillo, G. E. (2012). Análisis comparativo de la competitividad y productividad en el sector lácteo de américa latina y el mundo. *Tenth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, (pág. 19p.). Ciudad de Panamá.
- Linkov, I., Varghese, A., Jamil, S., Seager, T., Kiker, G., & Bridges, T. (2005). Multi-criteria decision analysis: a framework for structuring remedial decisions at contaminated sites. *Comparative risk assessment and environmental decision making*, 15-54.

- López-Ridaura., C. D., López-Hernández, E. S., & Ancona P., I. (2005). Desarrollo sustentable o sostenible: una definición conceptual. (U. J. Tabasco, Ed.) *Horizonte Sanitario*, 4(2). Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=457845044002>
- Loyce, C., Rellier, J., & Meynard, J. (2002b). Management planning for winter wheat with multiple objectives (2): ethanol-wheat production,. *Agricultural System* , 72, 33–57.
- Macharis, C., Springael, J., De Brucker, K., & Verbeke, A. (2004). PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis. Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. *European Journal of Operational Research*, 153, 307-317.
- Márquez, S., Cadavid, A., Sánchez, G., Hoyos, A., Corrales, E., & Chalarca, Y. (2015). Caracterización y análisis de sustentabilidad de los sistemas de producción de leche en los municipios de Abejorral. *Foro del Suroeste: Diálogo de saberes y oportunidades de región*, (pág. 18pp). Medellín.
- Martínez Alier, J., & Roca Jusmet, J. (2013). *Economía ecológica y política ambiental* (tercera ed.). Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica. Recuperado el 13 de agosto de 2021
- Martin-Utrillas, M., Reyes-Medina, M., Curiel-Esparza, J., & Canto-Perello, J. (2015b). Hybrid method for selection of the optimal process of leachate treatment in waste treatment and valorization plants or landfills. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17(4), 873-885.
- Masera, O., & López-Ridaura, S. (2000). *Sustentabilidad y sistemas campesinos: cinco experiencias de evaluación en el México rural*. Programa Universitario de medio ambiente, Mexico.
- Masera, O., Astier, M., & López-Ridaura, S. (1999). *Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales. El Marco de Evaluación MESMIS*. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, Mexico.
- Mathios, F. M. (2019). Sustentabilidad de hatos ganaderos en la cuenca baja del río Shanusi, Alto Amazonas – Loreto, Perú. *Tesis doctoral. Universidad Nacional Agraria la Molina.*, 98p. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/4011/>
- Mauchline, A., Mortimer, S., R., P. J., Finn, J., Haysom, K., Westbury, D., & Purvis G., L. G. (2012). Environmental evaluation of agri-environment schemes using participatory approaches : Experiences of testing the Agri-Environmental Footprint Index. *Land Use Policy*, 29, 317-328.

- Méndez Chiriboga, M. A. (2012). La sostenibilidad y sustentabilidad en los museos, dos enfoques principales: La museología tradicional y la nueva museología: estudio de caso en dos museos de la provincia de Pichincha. *Tesis Doctoral*. Quito, Pichincha. Obtenido de <http://repositorio.ute.edu.ec/>
- Meul, M., Nevens, F., & Reheul, D. (2009). Validating sustainability indicators: Focus on ecological aspects of Flemish dairy farms . *Ecological Indicators* , 9, 284-295.
- Meyer-Aurich, A. (2005). Economic and environmental analysis of sustainable farming practices - a Bavarian case study. *Agricultural System*, 86, 190–206.
- Minagricultura. (2020). *Cadena Láctea Colombiana: Análisis situacional Cádena Láctea*. Bogotá: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria UPRA.
- Moriondo, M., Pacini, C., Trombi, G., Vazzana, C., & Bindi, M. (2010). Sustainability of dairy farming system in Tuscany in a changing climate. *European Journal of Agronomy*, 32, 80-90.
- Mulindwa, H., Galukande, E., Wurzinger, M., Ojango, J., Okeyo, A., & J., S. (2011). Stochastic simulation model of Ankole pastoral production system: Model development and evaluation. *Ecological Modelling*, 222, 3692-3700.
- Munda, G. (2008). *Social multi-criteria evaluation for a sustainable economy*. Springer-Verlag., Berlin.
- Murgueitio, E. (2003). Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución. *Livestock Research for Rural Development*, 15(10). Obtenido de <http://www.cipav.org.co/>
- Murillo, L., Villalobos, L., Sáenz, F., & Vargas, B. (2004a). Un acercamiento integrado para determinar la sostenibilidad de granjas lecheras de Costa Rica: 1. Desarrollo de una matriz de indicadores. (P. R. Sostenible, Ed.) *Livestock Research for Rural Development*, 16(12). Obtenido de <http://www.cipav.org.co/>
- Murillo, L., Villalobos, L., Sáenz, F., & Vargas, B. (2004b). Un acercamiento integrado para determinar la sostenibilidad de granjas lecheras de Costa Rica: 2. Cálculo de los índices de sostenibilidad. (P. R. Sostenible, Ed.) *Livestock Research for Rural Development*, 16(12). Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/260226564>
- Nacer, T., Hamidat, A., & Nadjemi, O. (2016). A Comprehensive method to assess the feasibility of renewable energy on Algerian dairy farms. *Journal of Cleaner Production*, 112, 3631-3642.

- NACIONES UNIDAS. (Agosto de 1987). (N. Unidas, Ed.) Obtenido de [http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE\\_LECTURE\\_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf](http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf)
- NACIONES UNIDOS. (2002). Obtenido de [https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/WSSDsp\\_PD.htm](https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/WSSDsp_PD.htm).
- Nädäban, S., Dzitac, S., & Dzitac, I. (2016). Fuzzy TOPSIS: A General View. *Procedia Computer Science*, 91, 823 – 831. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com>
- Nahed, T. J. (2008). Aspectos metodológicos en la evaluación de la Sostenibilidad de Sistemas Agrosilvopastoriles . *Avances en Investigación Agropecuaria*, 12(3), 3-19.
- Nahed, T. J., García, B. L., Mena, Y., & Castel, J. (2006). Use of indicators to evaluate sustainability of animal production systems. *Options Méditerranéennes Serie A*, 70, 205-211.
- Nasca, J. A., Toranzos, M., & Banegas, N. R. (2006). Evaluación de la sostenibilidad de dos modelos ganaderos de la llanura deprimida salina de Tucumán. *Zootecnia Tropical*, 24(2), 121 – 136. Obtenido de <http://www2.scielo.org.ve/scielo.php>
- Niemeijer, D., & De Groot, R. S. (2008). A conceptual framework for selecting environmental indicator. *Ecological Indicators*, 81, 14-25. Obtenido de <https://fox.dnr.state.mn.us/pub/fsh/SLICE/Papers/Niemeijer%20and%20deGroot%202008.pdf>
- Noguera, A. (2003). Aproximación a Un Sistema De Indicadores De Sostenibilidad Para La Ganadería Ovina en La Provincia de Castellón. Obtenido de [http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/27\\_17\\_10\\_5a.1.pdf](http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/27_17_10_5a.1.pdf)
- Nousiainen, J., Tuori, M., Turtola, E., & Huhtanen, P. (2011 ). Dairy farm nutrient management model: 1. Model description and validation. *Agricultural Systems*, 104, 371–382.
- Olarte, L. M. (2014). *Análisis sectorial de la lechería especializada en Tropicó alto de Antioquia*. Obtenido de Repositorio Universidad Eafit: <http://repository.eafit.edu.co>
- Opricovic, S. (1998). *Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems*. (F. o. Engineering, Ed.)
- Opricovic, S., & Tzeng, G. (2004). The Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445–455.

- Opricovic, S., & Tzeng, G. (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European Journal of Operational Research*, 178, 514–529.
- Parra P., R. I., Puyana, R., & Yepes, F. (2021). *Análisis de la productividad del sector agropecuario en Colombia y su impacto en temas como: encadenamientos productivos, sostenibilidad e internacionalización, en el marco del programa Colombia más competitiva*. Informe Final 50 años Fedesarrollo, Bogotá. Obtenido de <http://www.colombiacompetitiva.gov.co/>
- PAS-UNLZ, s.f. (s.f.). Obtenido de <http://economicas.unlz.edu.ar/nuevosite/doc/pas/Desarrollosostenibleosustentable.pdf>
- Payraudeau, S., & Van der Werf, H. (2005). Environmental impact assessment for a farming region: a review of methods. 107, 1–19. *Agricultural Ecosystem Environmental*, 1-19. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.12.012>.
- PDMLU. (2016-2019). Plan de Desarrollo Municipal, La Unión. . *Administración municipal Hugo Botero López, Alcalde.*, 79p. Obtenido de <http://www.launion-antioquia.gov.co>
- PDMSDLM. (2016-2019). Plan de Desarrollo Municipal, San Pedro de los Milagros. *Administración municipal Héctor Darío Pérez Piedrahita, Alcalde*, 208p. Obtenido de <http://www.sanpedrodelosmilagros-antioquia.gov.co>.
- Pérez B., C., Velásquez A., O. H., & Arboleda Z., E. (2020). Calidad de Vida Laboral (CVL) y productividad zootécnica en hatos lecheros en pastoreo en Antioquía, Colombia. . En N. Murga, P. Rituay, J. Campos, & R. y. Meleán, *Agronegocios y ganadería sostenible*. (págs. 208-220). Venezuela, Perú. doi:<http://doi.org/10.38202/agronegocios>
- Pérez, J., Rincón, N., Materán, M., Montiel, N., & Urdaneta, F. (2002). Desarrollo Sostenible de tres comunidades de productores agrícolas del estado de Zulia. *Revista Facultad de Agronomía*, 19(2), 149-162. Obtenido de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-78182002000200007&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182002000200007&lng=es&tlng=es).
- PROEXPORT. (2011). *Sector Lácteo en Colombia* . Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://www.proexport.com.co/pdf>
- Qin, X. S., Huang, G. H., Chakma, A., Nie, X. H., & Lin, Q. G. (2008). A MCDM- based expert system for climate-change impact assessment and adaptation planning - A case study for the Georgia Basin, Canada. *Expert Systems with Applications*, 34(3), 2164-2179.

- Raison, R. J., Brown, A., & Flinn, D. (2001). Criteria and indicators for sustainable forest management. *Wallingford, UK: CABI Publishing.*
- Ramírez, L. (2001). *Aspectos productivos y reproductivos de la producción de leche en el trópico.* Obtenido de <http://www.cecalc.ula.ve/>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (2014). *Diccionario de la Real Academia Española.* eSPAÑA.
- Restrepo, J. C. (2013). Análisis de ciclo de vida del balance de N-P-K en dos sistemas de producción agropecuaria en bosque seco tropical. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias.*
- Riechmann, J. (2003). Tres principios básicos de justicia ambiental. *Revista Internacional de Filosofía Política*(21), 103-120. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/metricas/documento/ARTREV/714769>
- Rigby, D., & Cáceres, D. (2001). Organic farming and the sustainability of agricultural systems . *Agricultural Systems*, 68(1), 21-40. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X00000603>
- Rigby, D., Woodhouse, P., Young, T., & Burton, M. (2001). Constructing a farm level indicator of sustainable agricultural practice. *Ecological Economics*, 39, 463-478.
- Ríos A., G. P. (2010). *Propuesta para generar Indicadores de Sostenibilidad en Sistemas de Producción Agropecuaria, para la toma de decisiones. Caso: Lechería Especializada* (Vol. Tesis Maestría en Ingeniería Administrativa). Universidad Nacional de Colombia,.
- Ripoll-Bosch, R., Díez-Unquera, B., Ruíz, R., Villalba, D., Molina, E., Joy, M., . . . Bernués, A. (2012). An integrated sustainability assessment of mediterranean sheep farms with different degrees of intensification. *Agricultural Systems*, 105, 46-56. Obtenido de <https://www.journals.elsevier.com/locate/agsy>
- Rivera-Hernández, J., Alcántara-Salinas, G., Blanco-Orozco, N. V., Pascal, H., & Pérez-Sato, J. A. (2017). ¿Desarrollo sostenible o sustentable? La controversia de un concepto. *Revista Posgrado y Sociedad*, 15(1), 57-67. Obtenido de <https://doi.org/10.22458/rpys.v15i1.1825>
- Romero, C. (1993). *Análisis de las Decisiones Multicriterio.* Madrid: Isdefe. 4ta edición.
- Rowley, H. V., Peters, G., Lundie, S., & Moore, S. (2012). Aggregating sustainability indicators: Beyond the weighted sum. *Journal of Environmental Management*, 111, 24-33. Obtenido de [www.elsevier.com/locate/jenvman](http://www.elsevier.com/locate/jenvman)

- Roy, B., & Słowiński, R. (2013). Questions guiding the choice of a multicriteria decision aiding method. *EURO Journal on Decision Processes*, 1(1-2), 69-97.
- Ruiz, J. F., Barahona-Rosales, R., & Bolívar-Vergara, D. M. (2017). Indicadores de sustentabilidad para lechería especializada: Una revisión. *Livestock Research for Rural Development*, 29(9). Obtenido de <http://www.lrrd.org/lrrd29/1/ruiz29009.html>
- Ruiz, J. F., Cerón-Muñoz, M. F., Barahona-Rosales, R., & Bolívar-Vergara, D. M. (2018). Caracterización de sistemas de producción bovina de leche según el nivel de intensificación y su relación con variables ambientales y sociales asociadas a la sustentabilidad. *Livestock Research for Rural Development*, 29. Obtenido de <http://www.lrrd.org/lrrd29/1/boli29007.html>
- Saaty, T. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281.
- Saaty, T. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26.
- Saaty, T. (2000). Fundamentals of Decision Making and Priority Theory. With the Analytic Hierarchy Process. VI of the AHP series. Pittsburgh: RWS Publications.
- Saaty, T. (2012). *Decision Making for Leaders. The Analytic Hierarchy Process for decisions in a complex world, third edition*. Pittsburgh: University of Pittsburgh,.
- Saaty, T., & Ergu, D. (2015). When is a Decision-Making Method Trustworthy? Criteria for Evaluating Multi-Criteria Decision-Making Methods. . Vol. (14): 1 - 17. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 14, 1-17.
- Sadeghian, S., Rivera, J. M., & Gómez, M. E. (2001). Impacto de Sistemas de Ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de los suelos en los Andes Colombianos. *Agroforestría para la Producción Animal en Latinoamérica*, 77-95.
- Sadok, W., Angevin, F., Bergez, J.-E., Bockstaller, C., Colomb, B., Guichard, L., . . . Doré, T. (2008). Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping systems: implications for using multi-criteria decision-aid methods. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(1), 163-174.
- Salvado, M. F., Azevedo, S. G., Matias, J. C., & Ferreira, L. M. (2015). Proposal of a sustainability index for the automotive Industry. *Sustainability*, 7, 2113–2144.
- San Cristobal, J. R. (2012). Contractor Selection Using Multicriteria Decision-Making Methods. *Journal of Construction Engineering and Management-Asce*, 138(6), 751-758.



- Santos, S. F., & Brandi, H. S. (2015). Model framework to construct a single aggregate sustainability indicator: An application to the biodiesel supply chain. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17, 1963–1973.
- Sayadi, M. K., Heydari, M., & Shahanagh, K. (2009). Extension of VIKOR method for decision making problem with interval numbers. *Applied Mathematical Modelling*, 33, 2257 - 2262.
- SENA; COLCIENCIAS; DNP. (2010). Política Nacional para mejorar la competitividad del sector lácteo colombiano Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; Ministerio de Comercio, Industria y Turismo; Ministerio de la Protección Social. En M. d. Rural, I. y. Ministerio de Comercio, & M. d. Social (Ed.), *Conpes 3675*, (pág. 50p.). Bogota.
- Silva, S., Alçada-Almeida, L., & Dias, L. C. ((2014)). Development of a Web-based Multi-criteria Spatial Decision Support System for the assessment of environmental sustainability of dairy farms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 108, 46-57. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.06.009>
- Smith, R., Mesa, S. O., Dyner, R. I., Jaramillo, A. P., Poveda, J. G., & Valencia, R. D. (2000). *Decisiones con Múltiples Objetivos e Incertidumbre*. Medellín, Colombia.
- Solomie, A. G., Miranda, P. M., & Alfons, G. O.-L. (2014). A multiple criteria decision making approach to manure management systems in the Netherlands. , 232:. *European Journal of Operational Research*, 232, 643-653.
- Srdjevic, B., Srdjevic, Z., Blagojevic, B., & K., S. (2013). A two-phase algorithm for consensus building in AHP-group decision making,. *Applied Mathematical Modelling*, 37, 6670–6682.
- Sturaro, E., Marchiori, E., Cocca, G., Penasa, M., Ramanzin, M., & Bittante, G. (2013). Dairy systems in mountainous areas: Farm animal biodiversity, milk production and destination, and land use. *Livestock Science*, 158, 157-168. Obtenido de [www.elsevier.com/locate/livsci](http://www.elsevier.com/locate/livsci)
- Tommasino, H., Ferreira, R., Marzaroli, J., & Gutiérrez, R. (2012). Indicadores de sustentabilidad para la producción lechera familiar en Uruguay: análisis de tres casos. *Agrociencia*, 16(1), 166–176. Obtenido de <http://www.fagro.edu.uy/agrociencia/index.php/directorio/article/view/63/25>
- Toro, M. P. (2012). Análisis técnico, económico y social de los sistemas ovino lechero ecológicos de Castilla – la Mancha: eficiencia y sustentabilidad . *Tesis de doctorado*, 335p. España.

- Triantaphyllou, E. (2000). *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Urdaneta, F., Materan, M., & Pena, M. E. (2004). Tipificación Tecnológica del Sistema de Producción don Ganadería Bovina de Doble Propósito (Bos Taurus x Bos Indicus). *Revista Científica*, 14(3), 254-262.
- Ustinovichius, L., Zavadkas, E. K., & Podvezko, V. (2007). Application of a quantitative multiple criteria decision making (MCDM-1) approach to the analysis of investments in construction. *Control and cybernetics*, 36(1), 251.
- Van Calker, K., Berentsen, P., De Boer, I., Giesen, G., & Huirne, R. (2004). An LP-model to analyse economic and ecological sustainability on Dutch dairy farms: model presentation and application for experimental farm “de Marke”. *Agricultural Systems*, 82, 139-160.
- Van Calker, K., Berentsen, P., Giesen, G., & Huirne, R. (2008). Maximising sustainability of Dutch dairy farming systems for different stakeholders: A modelling approach. *Ecological Economics*, 65(2), 407–419. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/222321522\\_](https://www.researchgate.net/publication/222321522_)
- Van Calker, K., Berentsen, P., Romero, C., Giesen, G., & Huirne, R. (2006). Development and application of a multi-attribute sustainability function for Dutch dairy farming systems. *Ecological Economics*, 57, 640– 658.
- Van der Linden, A., De Olde, E. M., Mostert, P. F., & de Boer, I. J. (2020). A review of European models to assess the sustainability performance of livestock production systems. *Agricultural Systems*, 182, 11p. Obtenido de <https://www.elsevier.com/locate/agsy>
- Van Ittersum, M., Ewert, F., Heckeley, T., Wery, J., Alkan, O. J., Andersen, E., . . . Wolf, J. (2008). Integrated assessment of agricultural systems a component based framework for the European Union (SEAMLESS), . *Agricultural System*.
- Vayssières, J., Vigne, M., Alary, V., & Lecomte, P. (2011). Integrated participatory modelling of actual farms to support policy making on sustainable intensification. *Agricultural Systems*, 104, 146-161.
- Wang, X., & Triantaphyllou, E. (2006). Ranking Irregularities When Evaluating Alternatives by Using Some Multi-Criteria Decision Analysis Methods. En A. Badiru (Ed.), *Handbook of Industrial and Systems Engineering* (págs. 1-12). Florida, Boca Raton, USA: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Wattiaux, M. A. (2000). *Manejo de la Eficiencia Reproductiva*. Instituto Babcock para la Investigación y Desarrollo Internacional de la Industria Lechera. Universidad de Wisconsin, Madison.

- Wei, Z., Wang, X.-Q., & Guo, Q.-E. (2011). A Contractor Prequalification Model based on Triangular Fuzzy Number and TOPSIS. *Industrial Engineering and Engineering Management (IE&EM) IEEE 18Th International Conference*. Changchun.
- Yalcin, N., Bayrakdaroglu, A., & Kahraman, C. (2012). Application of fuzzy multi-criteria decision making methods for financial performance evaluation of Turkish manufacturing industries. *Expert Systems with Applications*,, 39, 350-364.
- Yu, P. (1973). A class of solutions for Group Decision Problems. *Management Science* , 19(8), 936-946.
- Zeleny, M. (1973). Multiple Criteria Decision Making. (C. University of South Carolina Press, Ed.) *Compromise Programming in Cochrane J.L. and M. Zeleny (Eds)*.
- Zorn, A., Esteves, M., Baur, I., & Lips, M. (2018). Financial Ratios as Indicators of Economic Sustainability: A Quantitative Analysis for Swiss Dairy Farms. *Sustainability*, 10(2942), 20p. doi:doi:10.3390/su10082942