



**Gestión estratégica para modelar la rentabilidad del sector primario lácteo en  
Colombia**

Alejandra Berdugo Alonso

Tesis de maestría presentada para optar al título de Magíster en Ingeniería

Directores

Gloria Lucia Ramírez Córdoba, Doctor (PhD) en Contabilidad y Finanzas

José Fernando Guarín Montoya, Doctor (PhD) en Ciencias Lecheras

Asesor

Carmen Elena Patiño Ramírez, Doctor (PhD) en Ingeniería Mecánica

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Ingeniería  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2022

<b>Cita</b>	(Berdugo Alonso et al., 2022)
<b>Referencia</b>	Berdugo Alonso, A et al., 2022. <i>Gestión estratégica para modelar la rentabilidad del sector primario lácteo en Colombia</i> [Tesis de maestría].
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Maestría en Ingeniería

Grupo de Investigación Analítica e Investigación para la Toma de Decisiones (ALIADO).

Centro de Investigación Ambientales y de Ingeniería (CIA).



Elija un elemento. **Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)**

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Jesús Francisco Vargas Bonilla.

**Jefe departamento:** Mario Alberto Gaviria Giraldo.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Agradecimientos**

Este documento representa aprendizaje, experiencias, emociones, crecimiento personal y profesional. Es la respuesta de que “no importa cuántas veces pienses que no vas a poder, al final lo lograrás”.

A Dios, que, sin importar las circunstancias, me mantuvo en pie para continuar. A mis padres Gerardo y Edith, por las innumerables veces en que me brindaron ánimo y apoyo desde que era solo una idea. A mis hermanos y sobrinos, por confiar en mí y hacerme sentir orgullosa del camino trazado. A mi compañero, Ronald Corcho, por apoyarnos en la consecución de un nuevo escalón. Mi más sentido agradecimiento a todos los que de alguna manera participaron en este proceso.

A mis directores y asesores de trabajo de grado, Gloria Lucía Ramírez Córdoba, José Fernando Guarín Montoya y Carmen Elena Patiño Rodríguez, por su acompañamiento, paciencia, tiempo y enseñanzas, no sólo asesoraron un proyecto, hicieron parte de una formación personal.

Al Centro De Prácticas y Desarrollo Agrario de la Universidad de Antioquia, finca La Montaña y a sus administradores por el trabajo colaborativo en este proyecto.

A la Gobernación del Atlántico y el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación: Minciencias, por el fomento a la educación a través de becas.

## Tabla de contenido

Capítulo I. Introducción .....	14
Capítulo II. Revisión de Literatura .....	18
2.1 Análisis de los resultados bibliográficos.....	20
2.2 Factores o determinantes de rentabilidad en el sector lácteo. ....	22
2.2.1 Ingresos .....	23
2.2.2 Capital.....	23
2.2.3 Costos.....	24
2.3 Asociación entre indicadores técnicos y económicos.....	25
2.4 Modelos de analítica en fincas lecheras .....	27
2.5 Consideraciones finales.....	32
Capítulo III. Metodología .....	33
3.1 Generalidades del eslabón primario .....	34
3.2 Determinantes de rentabilidad .....	35
3.3 Modelo de gestión de rentabilidad .....	39
3.4 Consideraciones finales.....	40
Capítulo IV. Resultados .....	42
4.1 Generalidades del eslabón primario del sector lácteo colombiano.....	43
4.1.1 Inventario Bovino .....	43
4.1.2 Producción .....	44
4.1.3 Participación económica del sector .....	46
4.1.4 Consumo .....	46
4.1.5 Actores y procesos.....	47
4.2 Determinantes de la rentabilidad .....	52
4.2.1 Parámetros de entrada .....	53
4.2.2. Indicadores de rentabilidad .....	56
● Utilidad después de costos de alimentación por litro producido .....	56
● Margen bruto por litro producido: .....	57
● Tasa de rendimiento de capital por litro producido:.....	57
4.2.3 Agrupamiento de parámetros de entrada según su relación con la variable respuesta .....	58
4.3 Modelo de gestión de la rentabilidad .....	62
4.3.1 Análisis de componentes principales.....	62
● Modelo 1: Utilidad después de costos de alimentación por litro producido	62
● Modelo 2: Margen bruto por litro producido .....	64

• Modelo 3: Tasa de rendimiento de capital por litro producido .....	67
4.3.2 Regresión lineal múltiple .....	70
• Modelo 4: Utilidad después de costos de alimentación por litro producido	70
• Modelo 5: Margen bruto por litro producido .....	71
• Modelo 6: Tasa de rendimiento por litro producido. ....	72
4.3.3 Regresión lineal múltiple - Componentes Principales (RL- PCA).....	73
• Modelo 7: Utilidad después de costos de alimentación .....	73
• Modelo 8: Margen bruto por litro producido .....	74
• Modelo 9: Tasa de rendimiento de capital .....	76
4.3.4 Selección y validación del modelo.....	77
4.4 Consideraciones finales .....	78
Capítulo V. Conclusiones.....	81
ANEXOS.....	84
Anexo 1: Entrevista .....	85
Anexo 2: Infografía .....	89
Anexo 3: Resultados estadísticos.....	91
REFERENCIAS .....	123

### Tabla de gráficos

Gráfico 1. Literatura por eje temático. ....	20
Gráfico 2. Frecuencia de estudios por año de las temáticas de interés. ....	21
Gráfico 3. Interacción entre temáticas de interés. ....	21
Gráfico 4. Clasificación de estudios según tipo de analítica. ....	28
Gráfico 5. Número de predios por año en Colombia.....	43
Gráfico 6. Inventario bovino por año en Colombia.....	44
Gráfico 7. Producción anual de leche en Colombia.....	45
Gráfico 8. Consumo aparente per cápita anual Leche.....	47
Gráfico 9. Importaciones vs exportaciones de leche y derivados lácteos 2017 – 2020 .....	47
Gráfico 10. Niveles de escolaridad de los productores.....	48
Gráfico 11. Factores asociados a la percepción de pobreza. ....	49
Gráfico 12. Distribución y participación de la población por género y grupos de edad. .....	49
Gráfico 13. Valor promedio del jornal pecuario en Colombia 2013-2019.....	50
Gráfico 14. Evolución anual de los costos promedio mensuales. ....	55

Gráfico 15. Evolución de la utilidad mensual después de costos de alimentación por litro producido año a año.....	56
Gráfico 16. Evolución anual de Ingresos mensuales vs costos de alimentación mensual. ....	56
Gráfico 17. Evolución del margen bruto mensual por litro producido año a año. ....	57
Gráfico 18. Evolución anual de Ingresos mensuales vs costos totales. ....	57
Gráfico 19. Evolución de la tasa de rendimiento mensual por litro producido año a año. ....	58
Gráfico 20. Matriz de correlación de Utilidad después de alimentación/L con parámetros de entrada. ....	59
Gráfico 21. Matriz de correlación de margen bruto/L con parámetros de entrada. ....	60
Gráfico 22. Matriz de correlación de tasa de rendimiento de capital/L con parámetros de entrada. ....	61
Gráfico 23. Vectores de los componentes principales de utilidad después de alimentación/L. ....	63
Gráfico 24. Vectores de los componentes principales de margen bruto/L. ....	66
Gráfico 25. Vectores de los componentes principales de tasa de rendimiento de capital/L. ....	69
Gráfico 30. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de leche producida. ....	91
Gráfico 32. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de precio de la leche....	92
Gráfico 38. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de valor de la tierra. ....	95
Gráfico 39. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de valor de semovientes. ....	96
Gráfico 42. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de costos de concentrado de lactantes. ....	99
Gráfico 44. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de costos de fertilizante. ....	100
Gráfico 50. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de costos de fumigación. ....	101
Gráfico 53. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de costos de maquinaria. ....	103
Gráfico 54. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de costos de mantenimiento. ....	104
Gráfico 55. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de costos de inseminación artificial por litro producido. ....	105
Gráfico 56. Gráfica histograma, caja de bigotes y QQ plot de variable utilidad después de alimentación/L. ....	105
Gráfico 57. Distribución de los residuales de variable: utilidad después de alimentación/L. ....	106
Gráfico 58. Dispersión de los residuales de variable: utilidad después de alimentación/L. ....	107
Gráfico 59. Independencia de los residuales de variable: utilidad después de alimentación/L. ....	107
Gráfico 60. Distribución de los datos de variable: margen bruto/L. ....	108
Gráfico 61. Distribución de los residuales de variable: margen bruto/L. ....	109

Gráfico 62. Dispersión de los residuales de variable: margen bruto/L.....	110
Gráfico 63. Independencia de los residuales de variable: margen bruto/L.....	110
Gráfico 64. Distribución de los datos de variable: tasa rendimiento de capital/L..	111
Gráfico 65. Distribución de los residuales de variable: tasa rendimiento de capital/L. .....	112
Gráfico 66. Dispersión de los residuales de variable: tasa rendimiento de capital/L.	113
Gráfico 67. Independencia de los residuales de variable: tasa rendimiento de capital/L. .....	114
Gráfico 68. Distribución de los residuales del modelo RL- PCA variable: <i>utilidad después de alimentación/L</i> .....	115
Gráfico 70. Independencia de los residuales RL- PCA de variable: utilidad después de alimentación/L.....	116
Gráfico 71. Distribución de los residuales RL- PCA de variable: margen bruto/L.	117
Gráfico 72. Dispersión de los residuales de PCL-RL variable: margen bruto/L....	118
Gráfico 73. Independencia de los residuales RL- PCA de variable: margen bruto/L.	119
Gráfico 74. Distribución de los residuales RL- PCA de variable: tasa rendimiento de capital/L.....	120
Gráfico 75. Dispersión de los residuales de PCL-RL variable: tasa rendimiento de capital/L. .....	120
Gráfico 76. Independencia de los residuales RL- PCA de variable: tasa rendimiento de capital/L.....	121

### Lista de tablas

Tabla 1. Macrocuencas de producción de leche en Colombia.....	45
Tabla 2. Resumen estadístico de los parámetros de entrada.....	54
Tabla 3. Agrupamientos entre parámetros de entrada y variables respuesta. ....	58
Tabla 4. Varianza explicada de componentes principales de utilidad después de alimentación/L.....	62
Tabla 5. Matriz de contribuciones a los componentes principales de utilidad después de alimentación/L.....	63
Tabla 6. Varianza explicada de componentes principales de margen bruto/L. ....	64
Tabla 7. Matriz de contribuciones a los componentes principales de margen bruto/L. .....	65
Tabla 8. Varianza explicada de componentes principales de tasa de rendimiento de capital/L.....	67
Tabla 9. Matriz de contribuciones a los componentes principales de tasa de rendimiento de capital/L.....	68
Tabla 10. Modelo de regresión de utilidad después de alimentación/L.....	70
Tabla 11. Modelo de regresión de margen bruto /L.....	71

Tabla 12. Modelo de regresión de tasa de rendimiento de capital.....	73
Tabla 13. Modelo de regresión de los componentes principales de utilidad después de alimentación/L.....	74
Tabla 14. Contribución de las variables predictoras en componentes principales en la variable utilidad después de alimentación/L.....	74
Tabla 15. Modelo de regresión componentes principales de margen bruto /L.....	75
Tabla 16. Contribución de las variables predictoras en componentes principales en la variable margen bruto/L.....	75
Tabla 17. Modelo de regresión de componentes principales de tasa de rendimiento capital/L.....	76
Tabla 18. Contribución de las variables predictoras en componentes principales en la variable tasa de rendimiento capital/L.....	76
Tabla 19. Medición de la calidad de los modelos.....	77
Tabla 20. Determinantes de rentabilidad.....	79
Tabla 21. Resumen de leche producida.....	91
Tabla 22. Resumen de precio de la leche.....	92
Tabla 23. Resumen de venta de ternero.....	93
Tabla 24. Resumen de valor de bienes.....	94
Tabla 25. Resumen de valor de la tierra.....	95
Tabla 26. Resumen de valor de semovientes.....	96
Tabla 27. Resumen de mano de obra contratada.....	97
Tabla 8. Resumen de costos de ensilaje.....	98
Tabla 29. Resumen de costos de alimentación no lactantes.....	100
Tabla 30. Resumen de costos de fertilizantes.....	100
Tabla 31. Resumen de costos de fumigación.....	101
Tabla 32. Resumen de costos de sanidad.....	102
.....	102
Tabla 33. Resumen de costos de transporte.....	103
Tabla 34. Resumen de costos de maquinaria.....	103
Tabla 35. Resumen de costos de mantenimiento.....	104
Tabla 37. Pruebas de normalidad de utilidad después de alimentación/L.....	106
Tabla 38. Pruebas de normalidad de residuales utilidad después de alimentación/L.....	106
.....	106
Tabla 39. Pruebas de varianza de residuales utilidad después de alimentación/L.....	107
Tabla 41. Pruebas de normalidad de margen bruto/L.....	109
Tabla 42. Pruebas de normalidad de residuales márgen brutos/L.....	109
Tabla 43. Pruebas de varianza de residuales margen bruto/L.....	110
Tabla 44. Pruebas de independencia de residuales margen bruto/L.....	111

Tabla 45. Pruebas de normalidad de <i>tasa rendimiento de capital/L.</i> .....	112
Tabla 46. Pruebas de normalidad de residuales <i>tasa rendimiento de capital/L.</i> ..	112
Tabla 47. Pruebas de varianza de residuales <i>tasa rendimiento de capital/L.</i> .....	113
Tabla 48. Pruebas de independencia de residuales <i>tasa rendimiento de capital/L.</i>	114
Tabla 49. Pruebas de normalidad de residuales RL- PCA de utilidad después de alimentación/L. ....	115
Tabla 50. Pruebas de varianza de residuales RL- PCA utilidad después de alimentación/L. ....	116
Tabla 51. Pruebas de independencia de residuales RL- PCA de utilidad después de alimentación/L. ....	117
Tabla 52. Pruebas de normalidad de residuales PCL-RL <i>margen bruto/L.</i> .....	118
Tabla 53. Pruebas de varianza de residuales PCA- RL <i>margen bruto/L.</i> .....	118
Tabla 52. Pruebas de independencia de residuales RL- PCA <i>margen bruto/L.</i> ...	119
Tabla 54. Pruebas de normalidad de residuales RL- PCA <i>tasa rendimiento de capital/L.</i> .....	120
Tabla 55. Pruebas de varianza de residuales PCA- RL <i>tasa rendimiento de capital/L.</i> .....	121

### **Tabla de ilustraciones**

Ilustración 1. Eslabones de la cadena de abastecimiento láctea de Colombia .....	19
Ilustración 2. Actividades de la etapa I .....	34
Ilustración 3. Tareas de identificación de actores, procesos y prácticas del eslabón primario. ....	35
Ilustración 4. Revisión de literatura y selección de variables. ....	37
Ilustración 5. Proceso de Cría. ....	51
Ilustración 6. Proceso de ordeño. ....	52

## Tabla de nomenclaturas

Nomenclatura	Nombre	Definición
VTernero/L	Venta de ternero por litro producido	Corresponde al precio pagado al productor por la venta de terneros de descarte, dividido por litro producido. Tomado de los registros contables de la finca
VLeche/L	Venta de lecho por litro producido	Corresponde al precio pagado al productor por litro producido en la región. Tomado de fuentes oficiales del sector que relacionan el precio, teniendo las bonificaciones establecidas por ley y las voluntarias del acopiador regional al que se le despacha la leche (Colanta)
CosAL/L	Costo de alimento balanceado de lactantes por litro producido	Los costos de alimento balanceado de lactantes por litro producido están estimados por la cantidad de concentrado asignado con base a los requerimientos del National Research Council (NRC, 2001) para las vacas que se encuentran en etapa de producción por el costo por kilogramo de al mes, dividido por litro producido.
CosANL/L	Costo de alimento balanceado no lactantes por litro producido	Para las vacas y terneros que no están en producción, su costo de alimento balanceado por litro producido está dado por la cantidad de alimento balanceado que se les suministra para alcanzar los requerimientos de las respectivas etapas, de acuerdo con el National Research Council (NRC, 2001) y el costo por kilogramo al mes, dividido por litro producido.
CosEns/L	Costos de ensilaje por litro producido	Los costos de ensilaje por litro producido están determinados por la cantidad de ensilaje que deben comer las vacas asignados en la formulación de alimentación de acuerdo con los requerimientos del National Research Council (NRC, 2001) por el costo unitario por kilogramo de ensilaje en el mes, dividido por litro producido.
CosFer/L	Costos de fertilizante por litro producido	Los costos de fertilizante por litro producido se estiman de acuerdo a la cantidad de fertilizantes aplicado en el mes por el costo unitario del fertilizante seleccionado, dividido por litro producido.
CosFum/L	Costos de fumigación por litro producido	Los costos de fumigación por litro producido se estiman de acuerdo a la cantidad de fungicida aplicado en el mes por el costo unitario del fungicida seleccionado, dividido por litro producido.
CosMaq/L	Costos de maquinaria por litro producido	Los costos de maquinaria por litro producido, sacamos la proporción mensual de la máquina de acuerdo con su valor de compra, la vida útil y los meses de uso, dividido por litro producido. La actividad lechera representa la mayor participación de la finca, por lo cual se asume el costo a la actividad
CosMtto/L	Costos de mantenimiento por litro producido	El costo de mantenimiento por litro producido está dado por los costos asociados al aseo y rutina de ordeño generados en el mes., dividido por litro producido.
CosSan/L	Costos de sanidad por litro producido	El costo de sanidad por litro producido tuvimos en consideración los registros contables correspondientes a costos por: desparasitación, medicamentos asociados a enfermedades y el esquema de vacunación que se haya presentado en el mes, dividido por litro producido.
CosTrans/L	Costos de transporte por litro producido	El costo de transporte por litros producido corresponde a las tarifas establecidas en la región de acuerdo con la distancia recorrida entre la finca y el centro de acopio al mes, dividido por litro producido.
IArt/L	Costos de inseminación artificial por litro producido	Los costos de inseminación artificial corresponden a los registros contables asociados a la actividad reproductiva durante el mes dividido por los litros producidos
MDO/L	Costos de mano de obra por litro producido	La mano de obra por litro producido fue estimada a partir de las horas trabajadas, número de personas contratadas y costo pagado por hora de acuerdo con la clasificación como: operarios, profesionales, asistentes y administrativos en cada mes, dividido por litro producido.

VSem/L	Valor de semovientes por litro producido	Corresponde al valor comercial del hato ganadero en el mes dividido por los litros producidos
VBien /L	Valor de bienes por litro producido	Corresponde a la proporción comercial de los bienes presentes en la finca, como edificaciones, dividido por litros producidos.
VTierra/L	Valor de la tierra por litro producido	Corresponde al valor comercial de la tierra dividido por los litros producidos. Se tomó del valor por hectárea para el municipio
UA/L	Utilidad después de alimentación por litro producido	Corresponde a la diferencia entre los ingresos y costos de alimentación, para el primer rubro se tienen en cuenta los ingresos por litros de leche vendidos y las retribuciones por venta de animales. En los costos de alimentación se incluyen los costos de concentrado, ensilaje, fertilizantes de pastos y fungicidas para pastos.
MB/L	Margen bruto por litro producido	Corresponde en la división de los ingresos netos (ingresos brutos menos costos totales) entre los ingresos brutos totales. Lo que nos indica la proporción de los ingresos brutos totales que permanecieron en la finca luego de pagados todos los costos, sean fijos o variables.
TRC/L	Tasa de rendimiento de capital por litro producido	Corresponde a la división entre los ingresos netos y el capital, lo cual nos indica la rentabilidad de la finca lechera frente a inversiones alternativas.

## RESUMEN

En Colombia, la producción anual de leche fue de 7.393 millones de litros en el año 2020. El sector lácteo representa el 1,4% del PIB (producto interno bruto) y el 12,10% del PIB agrícola nacional. Sin embargo, los resultados para este sector no han sido satisfactorios en comparación con el resto de América Latina en las últimas décadas. Se han reportado diversos problemas en el sector productivo primario como: falta de políticas para mejorar la productividad, ineficiencia en la producción, procesos técnicos de producción inadecuados, gran variabilidad en los precios de producción, desventajas competitivas generadas por la entrada masiva al país de bienes importados, entre otros. Lo que contribuye a la reducción en la rentabilidad de las fincas lecheras; esto último implica la necesidad de investigar sobre herramientas de toma de decisiones que reduzcan el impacto de estos factores adversos sobre la rentabilidad de la industria láctea. El uso de índices técnicos para controlar el desempeño de fincas lecheras en términos de productividad y rentabilidad, puede ser útil para optimizar los parámetros técnico-económicos en la industria láctea colombiana. En Colombia, hasta el momento se han registrado pocos estudios que aborden los determinantes de la rentabilidad del sector lácteo.

Este trabajo de investigación tiene el objetivo de estudiar la rentabilidad mediante analítica predictiva considerando un enfoque integrado de costos, productividad y el uso de índices económicos y técnicos. Para esto se propone un modelo de gestión que apoya la toma de decisiones en las explotaciones lecheras mediante la identificación de las determinantes de rentabilidad, el cálculo de la rentabilidad y la generación de recomendaciones en función de la sensibilidad de las variables de entrada seleccionadas.

El modelo se centra en la determinación de las relaciones de causa-efecto entre las variables de entrada y salida (utilidad después de costos de alimentación por litro producido, margen bruto por litro producido y tasas de rendimiento de capital por litro producido) para explicar las determinantes de la rentabilidad en una finca experimental, representativa del sistema de producción para la lechería especializada en Colombia.

Inicialmente, describimos las generalidades del eslabón primario en el sector lácteo en Colombia. Junto a un panel de expertos seleccionamos un conjunto de variables relacionadas con la alimentación, los animales, los recursos humanos, la fertilización, entre otras. Luego, nuestro equipo de trabajo tuvo acceso a la finca experimental del centro de prácticas y desarrollo agropecuario de la Universidad de Antioquia ubicada en el municipio de San Pedro de los Milagros, Antioquia; donde evaluamos registros productivos de esta finca, desarrollando índices y generando nuevos determinantes de rentabilidad. Posteriormente, propusimos tres metodologías de analítica predictiva que generan modelos para explicar el comportamiento de los indicadores de rentabilidad, apoyándonos con el uso de R Studio para desarrollar los modelos. Seguidamente, presentamos medidas de desempeño que soportan la toma de decisión en la selección de una de las metodologías para identificar las determinantes de rentabilidad. Por último, analizamos los resultados para establecer hallazgos, recomendaciones y lineamientos de acción que soporten la toma de decisiones en la gestión operativa y financiera de la finca lechera en pro de mejorar su rentabilidad. Nuestros resultados muestran hallazgos con potenciales implicaciones en la gestión gerencial y para la operación técnica-económica de la finca lechera basada en la obtención de una mejor rentabilidad del negocio. Esto es, nuestros análisis demostraron que, a partir de la identificación de las determinantes de rentabilidad, los esfuerzos no deben ir enfocados en analizar o modificar todos los parámetros y/o variables productivas si el objetivo es mejorar la rentabilidad del negocio, sino, más bien, enfocarse en indicadores con demostrada relación sobre la rentabilidad, logrando controlar e integrar de mejor manera el resultado de las gestiones productiva y económica.

*Palabras clave:* Competitividad, leche, productividad, rentabilidad.

## **ABSTRACT**

In Colombia, annual milk production was estimated in 7,393 million liters in 2020. The dairy sector represents 1.4% of the national GDP (gross domestic product) and 12.10% of agricultural GDP. However, the results for Colombian dairy sector have not been satisfactory as expected in recent decades compared to the rest of Latin America. Various problems have been reported in the primary productive sector such as lack of policies to improve productivity, inefficiency in production, inadequate technical production processes, great variability in production prices, competitive disadvantages generated by the massive entry into the country of imported commodities, among others, which contributes to the reduction in the profitability of dairy farms. Therefore, this implies the need to investigate decision-making tools that reduce the impact of these adverse factors on the profitability of the dairy industry. The use of technical indices to control the performance of dairy farms in terms of productivity and profitability can be useful to optimize the technical-economic parameters in the Colombian dairy industry. In Colombia, no studies have addressed the determinants for profitability of the dairy sector. This research assignment has the objective of studying profitability through predictive analytics considering an integrated approach of costs, productivity, economic, and technical indexes. For this, a management model was proposed in order to support decision-making in dairy farms by identifying the determinants of profitability, calculating profitability, and generating recommendations based on the sensitivity of selected variables. The model focuses on determining the cause-effect relationships between the input and output variables (profit after feed costs per liter produced, gross margin per liter produced, and rates of return on capital per liter produced) to explain the determinants of profitability in an experimental farm, representative of the specialized dairy production systems in Colombia. First, we describe the generalities of the primary link in the dairy sector in Colombia. Second, through a panel of experts, we select a set of variables related to food, animals, human resources, fertilization, among others. Then, our work team had access to an experimental farm of the agricultural practice and development center of the University of Antioquia located in the municipality of San Pedro de los Milagros, Antioquia, where we collected production records of this farm, developing indexes, generating new determinants of profitability for this study. Subsequently, we propose three predictive analytics methodologies that generate models to explain the behavior of profitability indicators, using R Studio for the development of the models. Then, we present indicators that support decision-making in the selection of a methodology to identify the determinants of profitability. Finally, we analyze the results to establish findings, recommendations, and action guidelines that support decision-making in the operational and financial management of the dairy farm to improve its profitability. Our results showed potential implications for the management and for the technical-economic operation of the dairy farm based on obtaining a better profitability of the business. That is, our analyzes showed that from the identification of the determinants of profitability, efforts should not be focused on analyzing or modifying all the parameters and / or productive variables if the objective is to improve the profitability of the business, but, rather, focus on indicators with a proven relationship on profitability, managing to better control and integrate the result of productive and economic management.

*Keywords:* competitiveness, dairy, productivity, profitability

# Capítulo I

## Introducción

La leche, es uno de los productos agrícolas más producidos y valiosos para la industria alimenticia alrededor del mundo. Durante el último siglo, la leche ha tenido un papel preponderante en la nutrición humana, la industria alimenticia, en los programas de salud para la población y para los negocios internacionales de los países productores. Las producciones a nivel mundial han aumentado ostensiblemente mientras que el número de animales ha disminuido, lo que denota una tendencia hacia la especialización de la producción láctea (Hall & Eastridge 2014). Para el año 2020 la producción mundial de leche ascendió a 293.900 millones de litros, 1,4% más que en 2019 (FAOSTAT 2020). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estima que el consumo por persona aumentará un 1,3% anual en países en desarrollo para los años 2000 a 2030 (FAO & Animal Production and Health Division 2011). Asimismo, esta organización estima una tasa de crecimiento de la producción de 2,5% anual para los años 2000 a 2030 (FAO 2008). A nivel mundial el aumento de la producción en el periodo entre 2015 y 2019 ha sido del 2% (FAOSTAT 2020), lo que podía ser considerado como un aumento gradual y continuo, sin embargo, en Latinoamérica la producción de leche aumentó a una tasa mayor de 4,5%, en comparación con regiones más desarrolladas como Asia con el 3,8%, Europa con 0,7% y América del Norte con 1,3% (FAOSTAT 2020).

Colombia se ha caracterizado por ser un país ganadero enfocado a dos actividades económicas en este ramo: la producción de carne y de leche (FEDEGAN 2018b). La ganadería en Colombia en el año 2020 comprende un total de 615.367 predios (DANE 2019; ICA 2020b). En el país el inventario animal es de 28,83 millones de cabezas, orientado esencialmente a tres propósitos: producción de carne con el 43% del ganado total, leche especializada con 12% y doble propósito con el 45% (DANE 2019; ICA 2020b); esto quiere decir que en Colombia el 57% del hato ganadero está dedicado en algún momento de su tiempo de vida a la producción de leche. Esta proporción del inventario ganadero nacional aumentó 8,6% en el período 2015 – 2019 (ICA 2020; Morales & Ortiz 2018). Para el año 2020 la producción diaria de leche en Colombia ascendió a 20,25 millones de L (40% proveniente de lechería especializada y 60% de sistemas doble propósito), generando una producción anual de 7.393 millones de litros de leche y un crecimiento de 2,9% en comparación con el año 2019 (DANE 2019; FAOSTAT 2020).

La importancia del sector lácteo en Colombia radica en el impacto social, debido al gran número de predios (productores) dedicados a la ganadería de leche (más de 620.000) (ICA 2020b). La caracterización con base en el número de animales por hato, se puede definir para Colombia en una gran mayoría de estos son pequeños productores (82% - 1 a 50 bovinos), otra cantidad importante son medianos productores (17% - 100 a 500 bovinos), mientras que, una minoría son grandes productores (1% - 500 o más bovinos) (ICA 2020b).

El sector lácteo colombiano tiene una participación significativa en el PIB nacional (producto interno bruto), es así como en el año 2018 representó el 21,8% del PIB agropecuario (Agronegocios 2019). Sin embargo, en el 2019 la participación del sector en el PIB agropecuario descendió a 12% (Ministerio de Agricultura 2020).

En síntesis, en Colombia el sector lácteo tiene un impacto social y económico relevante en el área rural. No obstante, está descendiendo su participación en la economía del país, aun cuando el número de productores (predios), el hato ganadero dedicado a la producción de leche y la producción anual de leche han aumentado desde año 2018.

En Colombia el eslabón primario (productores lecheros) enfrenta bajos niveles de productividad, aquellos productores con sistemas de doble propósito generan en promedio 4 L/día/vaca y bajo el sistema de lechería especializada un promedio de 13 L/día/vaca (CEDAIT 2020). Comparado con Nueva Zelanda, que es un sistema en pastoreo similar al nuestro,

presenta un déficit de 5 L/día (Dairynz 2019). Además, según datos de FAOSTATS, no ha habido variación significativa de la productividad del eslabón primario colombiano durante las últimas cuatro décadas (FAOSTAT 2020). Se han identificado dificultades como: la producción basada en precio de la leche y no en costos de producción, baja tecnificación de procesos productivos, alta variabilidad del precio de insumos, dependencia de factores climáticos; fluctuación en el precio pagado al productor y fluctuación en la oferta y la demanda, el cual no permite aumentar la productividad, generando desventajas competitivas y de rentabilidad en mercados locales e internacionales (Ministerio de Industria y Comercio 2014).

El sector lácteo en Colombia se encuentra en una coyuntura que requiere acciones por parte de los participantes de la cadena productiva y del gobierno para mejorar la competitividad y garantizar la rentabilidad del negocio, considerando el déficit de productividad en comparación con otros países y las regulaciones del precio del litro de leche que no son coherentes con el esfuerzo por aumentar la competitividad del sector (Cadena et al. 2019). A lo anterior se suma la implementación gradual de acuerdos de libre comercio con Estados Unidos y la Unión Europea.

En la actualidad, aproximadamente el 10% de la leche que se consume en Colombia proviene de Estados Unidos y se espera que para el año 2026 los productos lácteos provenientes de este país estén libres de arancel, generando la posibilidad de importar cantidades ilimitadas de productos lácteos por parte de los comercializadores nacionales con un esperado impacto negativo sobre la cadena láctea colombiana (Cadena et al. 2019). El crecimiento de las importaciones para el año 2020 fueron del 19,80% con respecto al 2019, con un valor 73.600 toneladas (Agronegocios 2021a).

Por esto, consideramos que el sector lácteo colombiano presenta un conjunto de dificultades que disminuyen su competitividad en mercados locales e internacionales, lo que afecta su rentabilidad. Además, no se tiene conocimiento de cuáles son las determinantes de rentabilidad y cómo afectan el resultado en la operación de producción y venta de leche en el eslabón primario del sector lácteo colombiano.

El eslabón primario visto como unidad económica, tiene como actividad principal la producción de leche para su venta y generar utilidades en el negocio, considerando que se obtiene utilidad cuando la diferencia entre el ingreso y el costo es mayor a cero (Herrera et al. 2011). La rentabilidad es el objetivo principal que se traza una organización para determinar si el rendimiento de la inversión es positivo, posterior a la ejecución de las actividades de operación en un período de tiempo (De La Hoz Suárez et al. 2008) y cobra importancia al permitir medir la eficacia de la gestión de una organización en función de sus utilidades (Flores et al. 2013).

La gestión de la rentabilidad es realizada mediante el uso de indicadores, que tienen por objetivo medir la capacidad de las organizaciones para generar ingresos y mantenerse competitivos (Vaca 2015). Para la gestión y estudio en el sector lácteo se han utilizado indicadores de rentabilidad para identificar los determinantes de la misma a partir de variables como el tamaño del hato ganadero (Stock 2000), producción de leche (Fassio et al. 2006), el precio y costo de la leche (Lima 2006), alimentación y genética de los bovinos (McCarthy et al. 2007), la mano de obra, concentrado en la alimentación y productividad por vaca (Pereira et al. 2016), prácticas de bienestar animal (Ahmed et al. 2020; Villettaz Robichaud et al. 2019), costos de sanidad (Fernández De La Cal, Mantecón, and Moral 2021), entre otros.

En búsqueda de abordar este problema, múltiples autores de diversos países han desarrollado estudios enfocados en rentabilidad, productividad, indicadores zootécnicos, indicadores económicos y costos. Desde el enfoque de rentabilidad, se ha utilizado análisis de

componentes principales (PCA) para identificar las determinantes a partir de la comparación de indicadores zootécnicos de un grupo de fincas y su efecto sobre tres indicadores de rentabilidad (Pereira et al. 2016). También, se ha utilizado la regresión lineal para evaluar las asociaciones entre las medidas de productividad del hato y la rentabilidad de la finca, al usar indicadores de bienestar y confort de las vacas, determinando que a mayor comodidad y bienestar de las vacas aumenta la producción de leche evidenciando beneficios financieros (Villettaz Robichaud et al. 2019). Por otro lado, en el enfoque de productividad se han desarrollado estudios que permiten obtener conocimiento acerca del desarrollo de los procesos para facilitar la implementación de planes de mejora, a través de la medición y gestión de indicadores zootécnicos como el hato ganadero, la producción de leche por vaca o la mano de obra, entre otros (Ariyachandra & Frolick 2008). Los indicadores zootécnicos también han sido utilizados como instrumentos para monitorear y evaluar la eficiencia económica de las producciones lecheras, dada su facilidad de cálculo (Pereira et al. 2016). Además, los indicadores zootécnicos han sido usados para comparar y evaluar la correspondencia entre los indicadores reproductivos y económicos, concluyendo que los sistemas de gestión que tienen como objetivo aumentar la tasa de rendimiento del capital invertido de las fincas lecheras, deben buscar buenos resultados reproductivos para alcanzar la máxima rentabilidad (Lobato et al. 2018). En Latinoamérica, específicamente en Brasil, se han desarrollado estudios para identificar las determinantes de rentabilidad en el eslabón primario del sector lácteo, donde su aplicación ha permitido definir qué índices del desempeño zootécnico y económico son los principales determinantes en fincas de la región, además de identificar oportunidades de obtener mejora en eficiencia zootécnica y financiera. Por otra parte, se ha evidenciado que en Colombia hacen falta estudios sobre rentabilidad, productividad y competitividad en el sector lácteo, específicamente enfocados a los determinantes de rentabilidad.

A la luz del contexto anteriormente expuesto, surge la necesidad de diseñar un modelo de gestión estratégica para medir la rentabilidad de fincas lecheras en el eslabón primario del sector lácteo colombiano, establecer determinantes de rentabilidad como variables de entrada y también encontrar los indicadores de rentabilidad. Esto permitirá determinar y analizar las relaciones causa- efecto entre las determinantes de rentabilidad y los indicadores de rentabilidad.

Este trabajo de grado está dividido en 5 capítulos, el capítulo I, brinda la introducción al problema, motivación y propuesta de solución del presente trabajo. El capítulo II, desarrolla una revisión de literatura de los conceptos y métodos de solución que se han utilizado para abordar el problema de baja productividad y competitividad en el sector lácteo desde los enfoques de rentabilidad, indicadores zootécnicos, costos, indicadores económicos y productividad. El capítulo III, presenta la metodología utilizada en el presente proyecto. En el capítulo IV se presentan los resultados y discusión; inicialmente se describen las generalidades del eslabón primario del sector lácteo colombiano, luego se establecen las determinantes de rentabilidad e indicadores de rentabilidad, y, por último, se desarrolla el método o modelo de solución propuesto para abordar el problema validando si existe una asociación entre las determinantes y el cálculo de rentabilidad de las fincas lecheras. Finalmente, en el capítulo V se presentan las conclusiones del trabajo y una discusión sobre trabajos futuros.

# Capítulo II

## Revisión de Literatura

La agroindustria se define como el subconjunto del sector productivo primario que procesa, y transforma materias primas y productos intermedios agrícolas, forestales y pesqueros, para satisfacer necesidades del mercado (Da Silva et al. 2013). Este sector productivo ejerce un rol indispensable en la economía como proveedor clave de suministros de alimentos (Behzadi et al. 2017). La agroindustria se puede asimilar con una cadena de abastecimiento en donde la interacción de los diferentes actores y procesos del sistema permiten que se den las relaciones para desarrollar, transformar y distribuir insumos específicos y productos en el sector (FAO et al. 2008).

La cadena de abastecimiento se compone de tres fases funcionales: provisión, producción y distribución, teniendo paralelamente tres tipos de flujos: información, productos y financiero (Brennan 1998; Lambert et al. 2005). La cadena de abastecimiento tiene como principal objetivo satisfacer la demanda de los clientes, garantizando los recursos necesarios para la ejecución de los procesos, por lo tanto, el diseño y gestión eficiente de la cadena de abastecimiento genera ventajas competitivas al sistema en su integralidad (Borgström 2005), entre mejor sean los insumos o más rentables y competitivos estos resulten para las transformaciones subsecuentes, mayor será la calidad de los productos de un sistema. El concepto de gestión de la cadena de abastecimiento ha sido definido por varios autores como la gestión del material, información y flujos financieros por medio de una red de organizaciones compuestas comúnmente por proveedores, fabricantes, empresas de transporte, mayoristas o distribuidores, minoristas y consumidor final (Christopher 1992; Ritchie et al. 2006) con el fin de entregar productos o servicios al consumidor final, incluyendo la colaboración de procesos o áreas como marketing y ventas (Tang 2006).

En la agroindustria, la cadena de abastecimiento inicia con la producción en el establecimiento agropecuario (eslabón primario), pasando por la etapa de procesamiento, hasta la distribución mayorista y minorista (Hobbs et al. 2000). La cadena de abastecimiento láctea en Colombia se constituyó empíricamente hace muchos años (Gómez 2011) y consiste en un sistema complejo de seis eslabones, donde el producto básico es la leche producida que proviene del eslabón primario con sistemas de producción especializados o de doble propósito (Ilustración 1) (Simanca et al. 2016). El eslabón primario se constituye entonces como una unidad económica, en el que los ganaderos hacen uso de tierras, animales, mano de obra y tecnología para la producción de leche (Herrera et al. 2011) (Cristina et al. 2011).

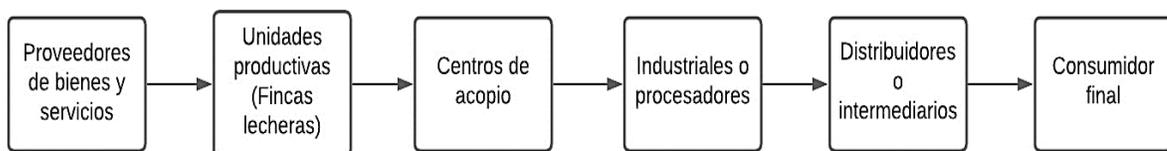


Ilustración 1. Eslabones de la cadena de abastecimiento láctea de Colombia

Se han desarrollado muchos modelos para la operación y gestión de cadenas de abastecimiento, sin embargo, en su mayoría descartan o ignoran las decisiones que incluyen aspectos financieros (Shapiro 2004). Esto claramente resta competitividad y capacidad de planificación y reacción estratégica a la industria láctea nacional para prepararse ante amenazas latentes contra el sector. La integración de factores financieros permite la evaluación ordenada de las decisiones de producción en operación financiera y su inclusión es recomendada en actividades intensivas de capital (Guillén et al. 2006; Longinidis & Georgiadis 2011).

## 2.1 Análisis de los resultados bibliográficos

En este trabajo de grado se utilizó un sistema de búsqueda bibliográfico realizado a partir de la selección de 2 artículos semillas, desde los cuales se identificaron 27 artículos científicos, 1 informe científico y 3 tesis de maestría enfocadas a las temáticas de productividad, indicadores zootécnicos, indicadores económicos, costos, y/o rentabilidad (Gráfico 1). Costos es el eje temático con menor aparición en la bibliografía encontrada, sin embargo, es de los primeros ejes temáticos estudiados. Con una diferencia poco marcada se encuentra rentabilidad e indicadores zootécnicos, indicando el creciente interés del sector en profundizar en estos temas.

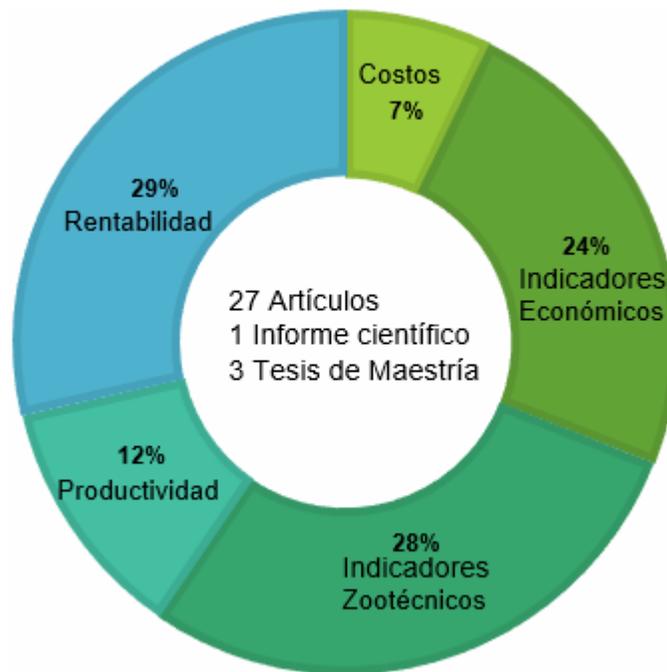


Gráfico 1. Literatura por eje temático.

Las temáticas anteriormente mencionadas referentes a los determinantes económicos de la lechería están siendo objeto de estudio a partir de la década de los ochenta del siglo pasado, siendo costos el eje temático más utilizado desde esta época, mientras que en los últimos años está teniendo un creciente interés de estudio la rentabilidad. Años como el 2007, 2016, 2018 y 2019 presentan mayor frecuencia de estudios, tal vez debido a crisis financieras que detonaron el interés por estudiar la rentabilidad del sistema productivo lechero en todo el mundo. Desde el primer estudio en 1989 hasta el primer año con más de 5 trabajos investigativos (2007), transcurrieron 18 años y hallamos sólo 6 trabajos investigativos realizados enfocados en costos y rentabilidad, lo que nos muestra poco interés y desarrollo en esa época por los ejes temáticos, de nuevo, quizás causado por épocas de alta rentabilidad sin que se presentasen crisis notorias en el sector (Gráfico 2).

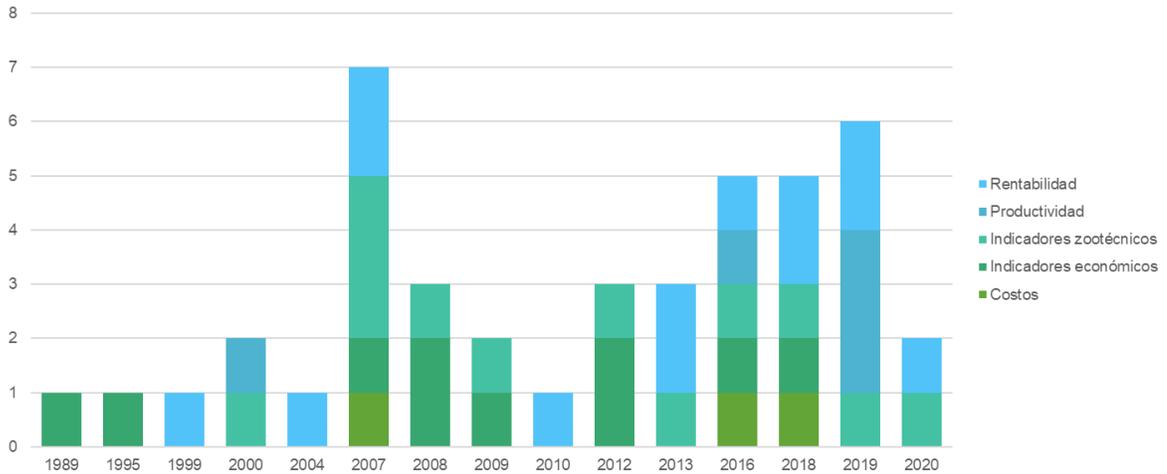


Gráfico 2. Frecuencia de estudios por año de las temáticas de interés.

En esta revisión de literatura identificamos interacciones entre los ejes temáticos más representativos. Por ejemplo, los investigadores del área han trabajado conjuntamente en temas como indicadores zootécnicos e indicadores económicos, los costos en asociación con la rentabilidad y la productividad, así como también la rentabilidad complementada con indicadores zootécnicos (Gráfico 3).

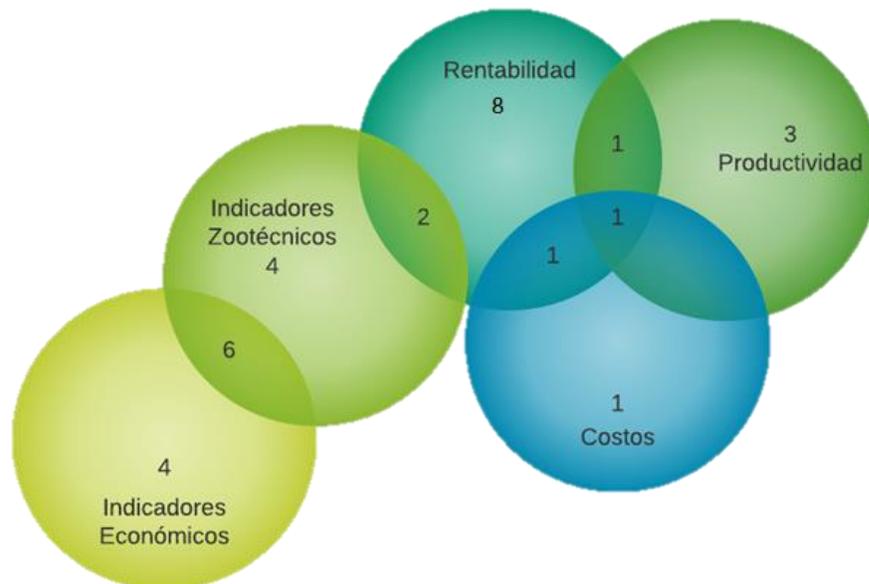


Gráfico 3. Interacción entre temáticas de interés.

Otros términos que identificamos en esta búsqueda fueron de especial interés, entre ellos se destacan: gestión de la cadena de suministros, indicadores de rendimiento, gestión financiera, modelos y economía, siendo palabras claves de los trabajos encontrados. Así mismo, identificamos que los brasileros e irlandeses, han trabajado frecuentemente en estos ejes temáticos y estudios en el sector. Esto se debe a la importancia primordial del sector dentro de las políticas y acciones de planificación pública de estos países.

## 2.2 Factores o determinantes de rentabilidad en el sector lácteo.

La rentabilidad, se define como la diferencia entre los ingresos y gastos que se incurren en un negocio, como también, es el retorno sobre las inversiones que se hagan, siendo una medición de la gestión, a través de las ventas, activos y capital (Contreras Salluca and Díaz Correa 2015). Según Hosmalin (1966), la rentabilidad es la confrontación de ingresos y gastos durante un periodo para la producción, también llamado según Apaza Meza (2011) utilidades, que se reflejan en el estado de resultados integrales. La rentabilidad es entendida como uno de los objetivos principales que se traza una organización para determinar si el rendimiento de la inversión es positivo, posterior a la ejecución de las actividades de operación en un período de tiempo (De La Hoz Suárez et al. 2008). La rentabilidad cobra importancia al permitir medir la eficacia de la gestión de una organización en función de sus utilidades, entre mayor sea la eficacia mayor será la competitividad de la empresa (Flores et al. 2013). Así pues, la gestión se puede realizar mediante el uso de indicadores de rentabilidad, los cuales tienen por objetivo medir la capacidad de las organizaciones para generar utilidades y mantenerse competitivos (Vaca 2015).

El cálculo de la rentabilidad ha variado en el tiempo a partir de diferentes indicadores, en la década de los noventa se hizo un estudio para identificar factores que afectan la rentabilidad y causan diferencia entre los resultados de organizaciones calculando la rentabilidad como el cociente entre los beneficios (utilidad incluyendo los ingresos financieros) y el activo total (Galán & Vecino 1997). Luego, en la década de los 2000, en Morillo (2001) definen la rentabilidad como una medida relativa de las utilidades, a partir de la comparación de las utilidades netas con las ventas (margen de utilidad sobre ventas), con la inversión realizada (rentabilidad del negocio), y con los fondos aportados por sus propietarios (rentabilidad financiera). En años recientes, se especifican métodos de cálculo de la rentabilidad como el método DFF (descuento de flujos de fondos incluidos en el plan financiero) o método clásico de los ratios (índices económicos obtenidos en los estados financieros provisionales) ya sea para empresas o proyectos de negocio (De Jaime Eslava 2016).

En la literatura Brasileira se encuentran diferentes indicadores, ejemplo de ello es margen bruto y tasa de rendimiento de capital (Resende et al. 2010), a lo cual también suelen adicionar utilidad descontado los costos por alimento. Por lo tanto, en este trabajo se utilizarán las siguientes medidas de rentabilidad:

- Utilidad después de costos de alimentación: corresponde a la diferencia entre los ingresos y costos de alimentación, para el primer rubro se tienen en cuenta los ingresos por litros de leche vendidos y las retribuciones por venta de animales. En los costos de alimentación se incluyen los costos de concentrado, ensilaje, fertilizantes de pastos y fungicidas para pastos.
- Margen bruto: corresponde en la división de los ingresos netos (ingresos brutos menos costos totales) entre los ingresos brutos totales. Lo que nos indica la proporción de los ingresos brutos totales que permanecieron en la finca luego de pagados todos los costos, sean fijos o variables.
- Tasa de rendimiento de capital: corresponde a la división entre los ingresos netos y el capital, lo cual nos indica la rentabilidad de la finca lechera frente a inversiones alternativas.

La rentabilidad de la actividad lechera, está definida como la eficiencia que tiene la finca para generar utilidades, relacionada con el efecto y la interacción de variables entre sí (Juszczuk 2005). Estas variables son consideradas las determinantes de rentabilidad y están asociadas a los costos, capital, ingresos y procesos productivos. Conocer los índices de actividad que son importantes como determinantes de la rentabilidad tiene un uso práctico, especialmente en fincas con contabilidad inexistente.

### **2.2.1 Ingresos**

Los ingresos se pueden definir como la retribución económica obtenida por la venta de un producto o servicio (Méndez & Tejada 2011). El concepto de ingresos ha sido abordado desde diferentes perspectivas, considerando el enfoque que tomemos respecto al flujo generado entre una empresa y su exterior como consecuencia de la actividad, esto es, entrada de activos (entrada), salida de bienes y/o servicios al exterior (salida), o como producto por sus actividades (neutral) (Condor 1990). Los ingresos comprenden tanto ingresos de actividades ordinarias como las ganancias, considerando a los ingresos de actividades ordinarias como resultado de las ventas, comisiones, dividendos, regalías y alquileres; siempre que esta entrada o ingreso genere un aumento del patrimonio que no se relacione con las aportaciones de capital de los propietarios. Por su parte, las ganancias son resultado de actividades no ordinarias de la empresa (Ugalde 2019). En el sector lácteo los ingresos se consideran la sumatoria de todos los valores monetarios generados por la venta del proceso de producción (leche) y la venta rutinaria de animales (terneros) (Resende et al. 2010). La importancia de la medición de los ingresos radica en la visibilidad de las retribuciones que permiten a las fincas lecheras adquirir bienes y servicios para su bienestar. Autores como Berentsen y Giesen (1995), interesados en incrementar los ingresos de una finca lechera, desarrollaron un modelo de programación lineal teniendo en cuenta los efectos de la institucionalidad, cambios técnicos y de precios en el plan agrícola, resultados económicos y pérdidas al medio ambiente; lo que les permitió optimizar la finca y mostrar que los efectos económicos negativos de la legislación medioambiental pueden compensarse con los efectos positivos de la mejora técnica.

### **2.2.2 Capital**

En teoría económica, el capital se puede definir como el derecho de un propietario sobre los activos de una empresa representado por la diferencia entre los activos totales y los pasivos de esta, también es conocido como patrimonio y está constituido por los aportes o inversiones realizadas por los propietarios, así como por las ganancias o pérdidas consecuencia de la actividad operacional de una organización (Horngren et al. 2010).

Para empresas agrícolas, el capital es definido por todos los valores monetarios invertidos en la producción, incluyendo bienes (Resende et al. 2010). Según Hoffmann (1989), los términos utilizados en contabilidad para empresas agrícolas, dividen en dos tipos el capital: capital de tierra y capital de trabajo. El primero comprende los bienes inmuebles como: el terreno, casas u otras construcciones; mejoras de la tierra, electrificación, sistemas de riego y drenaje. Por otro lado, el capital de trabajo se clasifica en fijo, el cual corresponde a rebaños, máquinas, tractores, herramientas; el efectivo en dinero para pago de salarios, fletes, impuestos, semillas, fertilizantes, medicinas y combustibles (Hoffmann 1989).

### 2.2.3 Costos

El costo se considera como el valor o los recursos que se sacrifican o entregan a cambio de bienes o servicios, están relacionados con la actividad de producción en la materia prima, mano de obra o cargos indirectos, entre otros (Colín 2008). Por lo tanto, los costos de producción en el sector lácteo corresponden al valor de los bienes y actividades que son empleadas para la obtención de la leche que posteriormente será vendida (Resende et al. 2010). Además, el costo está relacionado con el capital, que se define como el valor invertido en la producción, incluyendo el valor de los recursos naturales, mano de obra, entre otros (Resende et al. 2010).

Los costos se pueden clasificar según el comportamiento respecto al volumen de producción o venta de artículos en costos fijos o variables (Colín 2008). Los costos originariamente fueron considerados fijos, debido a que no cambiaban durante los períodos de alta o baja actividad (Torres 2018). No obstante, los costos fijos se han redefinido por otros autores como costos que no varían o permanecen constantes en un nivel o rango de producción, más allá de este nivel el costo varía (Molina 2010). Dentro de la actividad lechera se identifican costos fijos como: costos de mantenimiento, fertilización, fumigación, gastos de depreciación, amortización de los bovinos, entre otros.

Con relación a los costos variables, estos son definidos como aquellos que están directamente relacionados al nivel de producción, es decir, cambian a razón del volumen de operación realizado (Colín 2008), siendo que el costo unitario permanece constante (Molina 2010). Dentro de la actividad lechera se identifican costos variables como: alimentación de los bovinos en sus diferentes clasificaciones (cría, recria, levante, novilla de vientre, vaca lactante o vaca seca), costos de sanidad, reproducción (inseminación artificial), mano de obra, insumos y materiales.

Los constantes cambios (precios, costos de insumos y materia prima, competencia) en la cadena láctea han llevado a los productores (eslabón primario) a tener la necesidad de gestionar adecuadamente sus procesos, en búsqueda de eficiencia y sostenibilidad independientemente del tamaño del hato (Sá Filho et al. 2018). Sin embargo, debido a las dificultades financieras presentes en la producción primaria, el cálculo de los costos se convierte en una herramienta trascendental en el control y planificación de actividades para la toma de decisiones (Sá Filho et al. 2018).

Para el estudio de los costos de las actividades propias del eslabón primario del sector lácteo, se identificaron dos (2) metodologías: centro de costos y costos basado en actividades. La metodología centro de costos se ha utilizado para estimar por separado los costos de la leche de animales, forraje, maquinaria u otros, desde la década de los 80 del siglo pasado (Gastal 1980). Luego, en los primeros años de la década del 2000, autores segmentaron los centros de costo en producción de leche, producción de novillos, producción de alimentos y servicio de máquinas (TUPY 2000; Yamaguchi et al. 2003). Posteriormente, casi al final de la década, Lopes y Reis (2007) comparan metodologías de estructuras de costos, encontrando que la estructura dividida por centros de costos permite generar mayor precisión en la estimación de costos frente a una estructura global de costos.

Por su parte, los costos basados en actividades han sido usados con el fin de examinar y evaluar la viabilidad económica de los productores lecheros, manejar información técnica y económica, identificar fortalezas y debilidades, analizar los indicadores, verificar los inventarios

al final de un período, mejorar desempeño y prevenir errores futuros que puedan generar pérdidas mayores (Arêdes et al. 2006). Lo anterior, ha sido de utilidad para los productores en la formulación de estrategias a implementar en sus operaciones con el fin de mejorar la productividad y la economía agrícola (de Andrade Ferrazza et al. 2020). En otro estudio, (Seramim and Rojo 2016), mediante una hoja electrónica de costos identificaron los costos de producción en dos pequeñas propiedades rurales para identificar oportunidades de mejora en el proceso de gestión financiera, y concluyeron que los pequeños productores presentan dificultades para determinar los costos propios de su actividad lo que desencadena una gestión indebida de los gastos y de la planificación financiera.

En la teoría contable la relación de los costos, ingresos y capital se puede ejemplificar a partir de la ecuación contable, considerada la herramienta básica para representar los recursos (activos) sobre los cuales se busca generar *ingresos* en el futuro y los derechos (*capital o patrimonio*) sobre estos representados por las ganancias y pérdidas producidas por la operación (*costos*), considerando todas las obligaciones económicas (Pasivos) de la organización (Horngren et al. 2010).

A partir de los estados financieros de las empresas (Estado de Cambios en la Situación Financiera y Estado de Resultados) es posible calcular la rentabilidad y relacionar los conceptos de ingresos, costos, utilidad y capital, permitiendo establecer para todos los interesados el valor de la empresa y su situación financiera (Condor 1990).

### **2.3 Asociación entre indicadores técnicos y económicos**

El eslabón primario lechero visto como unidad económica, es la producción de litros de leche que se venden para generar utilidades, teniendo en cuenta que una empresa logra utilidad cuando la diferencia entre el ingreso y el costo marginal es igual a cero (Herrera et al. 2011). Por tanto, un aumento en la producción de leche puede impactar en la rentabilidad, cuando el costo marginal de la leche producida es menor que el precio asignado a la leche recibida (McDonald et al. 2013). La decisión de viabilidad económica de una finca lechera u otra inversión, requiere el uso de unos criterios que evalúen correctamente el desempeño, sin embargo, para Da Cunha, Medeiros y Wander (2014), no hay un único indicador de rentabilidad. Los indicadores de rentabilidad son indicadores económicos que buscan medir el desempeño real de una empresa o negocio en un período determinado. En el contexto lácteo la importancia de los indicadores de rentabilidad radica en que permiten monitorear los procesos o actividades críticas con mayor impacto en la operación de las fincas lecheras (Bornia 2002).

Por otra parte, los indicadores zootécnicos son relaciones técnicas entre variables relacionadas con la productividad de las fincas que permiten hacer seguimiento a la operación y generar e implementar planes de mejora (Ariyachandra & Frolick 2008). Entre estos indicadores, se consideran factores como la alimentación, producción de leche, mano de obra, sanidad, reproducción, gastos, maquinaria, entre otros, actuando como criterios de agrupación de parámetros y pudiendo ser asociados y enlazados directamente con los costos de producción, las ganancias obtenidas y, por consiguiente, con la rentabilidad del negocio (Resende et al. 2010).

En la literatura encontramos estudios recientes que pueden ser catalogados como aproximaciones modernas a los costos asociados a la rentabilidad, al hacer una integración con indicadores zootécnicos y/o económicos. En Oliveira (2007), los indicadores zootécnicos y económicos de los sistemas de producción de leche fueron analizados, no encontrando correlación significativa entre el número de hatos y el retorno del capital. De manera similar,

Cabrera, Solis y Corral (2008), concluyeron que no había evidencia de correlación entre el tamaño de la finca y el nivel de productividad, sin embargo, el rendimiento dependía de la tecnología adoptada. A finales de la década del 2000, por medio del análisis de la actividad de producción sobre la rentabilidad, otros autores determinaron que el aumento de la escala de producción permitía diluir los costos fijos, disminuyendo el costo total y aumentando los márgenes de ganancia Carvalho, Ramos y Lopes (2009). Por otro lado, en Massière (2009) el desempeño de indicadores zootécnicos y económicos fueron analizados con el fin de evaluar la correlación existente entre ellos, encontrando que el efecto de los datos zootécnicos sobre los datos económicos es significativo, con claras tendencias a que fincas con datos zootécnicos como intervalo entre partos, porcentaje de vacas lactantes en relación al total de vacas, producción media de animales más cercano al ideal, presentan indicadores económicos más favorables. Otros indicadores zootécnicos comúnmente utilizados para evaluar y rastrear la eficiencia económica de las fincas lecheras son la producción de leche por unidad de lactancia y mano de obra, ya que interfieren en decisiones como la composición de la alimentación animal, regularización de pastos e impacto en toda la estructura de la finca (Carvalho et al. 2009; Resende et al. 2010).

En estudios más recientes otros autores evalúan la relación entre indicadores de rentabilidad e indicadores zootécnicos en grupos de fincas, por ejemplo, en Pereira et al. (2016) compararon 159 fincas lecheras en cuanto a sus indicadores zootécnicos y económicos, con el fin de conocer su desempeño por medio del cálculo de tres indicadores de rentabilidad: ingreso neto anual, tasa de interés de retorno del capital invertido en bienes y margen de beneficio. Concluyendo que aún las fincas con indicadores de desempeño por encima del promedio de las fincas brasileñas son poco competitivas en comparación con los indicadores internacionales. En Lobato et al. (2018), compararon y evaluaron la correspondencia entre los indicadores reproductivos y económicos, concluyendo que los sistemas de gestión que tienen como objetivo aumentar la tasa de rendimiento del capital invertido de las fincas lecheras deben buscar buenos resultados reproductivos para alcanzar la máxima rentabilidad. Finalmente, De Andrade Ferrazza et al. (2020) quienes estimaron numerosos índices zootécnicos y económicos, calcularon los coeficientes de correlación de Pearson para determinar la relación entre cada índice y la rentabilidad. Luego de seleccionar los índices significativos, los resultados revelaron interacciones significativas entre diferentes combinaciones de índices técnicos y financieros.

La productividad se puede definir como un indicador útil para la gestión económica, con el objetivo estratégico de mejorar la utilización de entradas o recursos de producción en la generación de productos o servicios competitivos (Fernández de Soto 2010). Es decir, la productividad implica la mejora del proceso productivo a partir de una comparación favorable entre los recursos utilizados (entradas) y los productos y servicios obtenidos (salidas) (Carro Paz & González Gómez 2012). Sin embargo, la productividad también se ha definido como la creación de valor a través de diferenciación en costos y productos considerando un análisis de cinco factores de competitividad externos como: cliente, proveedor, nueva competencia, productos sustitutos y rivalidad (Porter 2008).

La valoración de la productividad también ha sido objeto de investigaciones en la agroindustria (Mundlak 2005; Pardey et al. 2010). En la literatura se encuentra evidencia que la productividad del sector agroindustrial es un factor determinante en el crecimiento económico (Bravo 2019), con mayor impacto aún si el país presenta alta proporción de población rural y acceso limitado a mercados internacionales (Gollin 2010).

Inicialmente, en los años ochenta y noventa del siglo pasado, se realizaron estudios enfocados a determinar el efecto de variables de control interno o externo en la productividad en

el sector lácteo, por ejemplo, un modelo de sistema de forrajes de lechería para evaluar alternativas en la conservación de forrajes (DAFOSYM), teniendo en cuenta variables de control interno como el crecimiento de cultivos, la cosecha, el almacenamiento, la alimentación, la utilización de animales y el análisis económico (Rotz et al. 1989), o variables de control externo como cambios institucionales, técnicos, de precios, resultados económicos y estado de nutrientes del medio ambiente (Berentsen & Giesen 1995).

En contraste, en los últimos años, los autores que realizan investigación en esta especialidad se han enfocado en diseñar indicadores de resiliencia y sostenibilidad, para evaluar el efecto de las variables de control interno o externo. Se destaca el modelo “Sistemas lácteos de Moorepark” (MDSM) basado en el crecimiento de los pastos por medio de indicadores de sostenibilidad, integrando variables de inventario animal, requisitos de alimentación, producción de leche, mano de obra, uso de la tierra, costos variables como la fertilización, gastos de contratista, médicos y veterinarios, costos fijos de maquinaria y mantenimiento, mantenimiento agrícola, precios de los productos básicos (terneros, leche y vaca) (Ruelle et al. 2018). En otro estudio, Hassani et al. (2019), diseñaron el indicador de resiliencia y sostenibilidad de “automata2” para aplicarlo en las fincas lecheras iraníes como un modelo experimental, el modelo fue adecuado para introducir estos conceptos y contribuye a promover métodos sostenibles en la producción agrícola.

## 2.4 Modelos de analítica en fincas lecheras

Los productores de leche enfrentan problemas asociados a la eficiencia de las operaciones, aumento en costos, baja productividad, cambios climáticos, bienestar del hato, entre otros; donde la interrelación de estos factores dificulta la determinación de costos y beneficios de la implementación de alternativas de manejo o tecnologías aplicadas (Shaloo et al. 2004). Es por esto por lo que modelos matemáticos han sido utilizados desde décadas anteriores en investigaciones experimentales. Los modelos han contribuido en diversas formas, como en la identificación de brechas de conocimiento, interpretación de resultados y, por supuesto, en el desarrollo de modelos mejorados (Bywater & Cacho 1994). En este sentido, en nuestra revisión de literatura evidenciamos el empleo de métodos que se clasifican en analítica descriptiva (Análisis estadístico descriptivo), predictiva (Regresión múltiple, Modelos de *Machine Learning*) y prescriptiva (Simulación, Programación matemática). La analítica descriptiva es la forma más simple de métodos de análisis de datos, implica examinar los datos e información para establecer el estado actual de un problema, identificando patrones de conocimiento y datos relevantes en forma de reportes y/o alertas utilizando métodos estadísticos simples como la media, mediana, desviación estándar, la varianza y frecuencia de eventos (Joseph & Johnson 2013; Rehman et al. 2016). La analítica predictiva está relacionada con los pronósticos y con determinar las posibilidades futuras en busca de descubrir patrones y relaciones en los datos, y se categoriza en dos grupos: técnicas de regresión y técnicas de *machine learning* (Gandomi & Haider 2015; Waller & Fawcett 2013). Por su parte, la analítica prescriptiva está relacionada con la optimización de los modelos y/o procesos de negocio basado en la retroalimentación proporcionada por los modelos predictivos, con el objetivo de determinar las relaciones causa-efecto entre los resultados analíticos y las políticas de optimización de procesos de negocio que permiten: evaluar cómo las empresas mejoran su nivel de servicio, recomendar acciones y prever qué impacto tendrán soportando la toma de decisiones (Bihani & Patil 2014; Joseph & Johnson 2013). Se evidenció que la analítica prescriptiva es la más utilizada, en esta se encuentran métodos como la simulación, la programación matemática y la computación evolutiva. La analítica descriptiva es la segunda más utilizada con el uso de métodos estadísticos simples, reportes y alertas. En último

lugar, la analítica predictiva ha sido la menos utilizada, con métodos probabilísticos y *machine learning* (Gráfico 4)

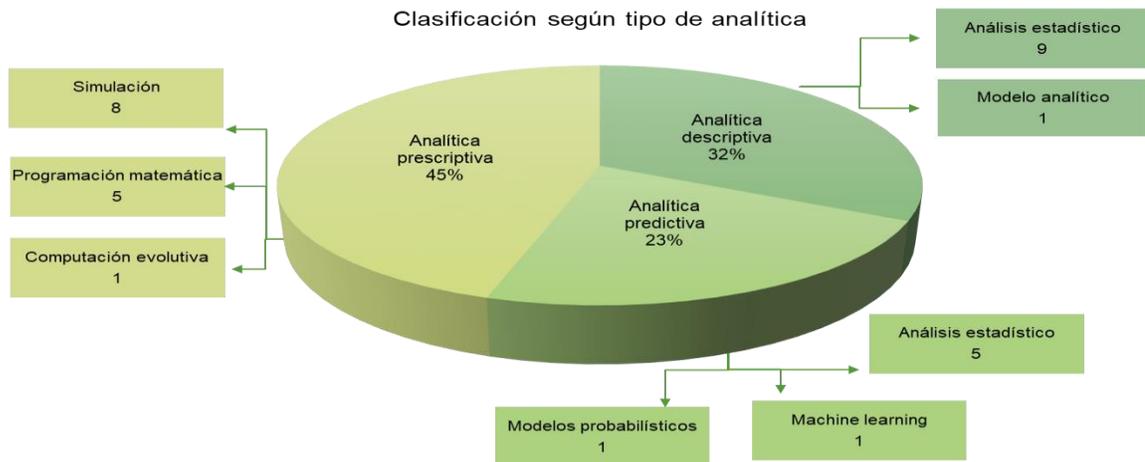


Gráfico 4. Clasificación de estudios según tipo de analítica.

Los métodos estadísticos simples como la media, desviación estándar y medición de frecuencia de eventos de analítica descriptiva son comúnmente utilizados. Por ejemplo, Fassio et al. (2006), observaron que, en extractos de mayor producción, el capital por litro de leche producido fue significativamente menor y resultó en un menor costo promedio de producción. En Carvalho et al. (2009), por medio del análisis de la actividad de producción sobre la rentabilidad, determinaron que el aumento de la escala de producción permitía diluir los costos fijos, disminuyendo el costo total y aumentando los márgenes de ganancia. (Massière 2009), caracterizó e identificó el desempeño de indicadores zootécnicos y económicos en un conjunto (muestra) de fincas en Minas Gerais, Brasil, con el fin de evaluar la correlación existente entre estos, determinando que el efecto de los indicadores zootécnicos sobre los indicadores económicos es significativo, fincas con mejores datos en indicadores como: intervalo de partos, porcentaje de vacas lactantes en relación con el número total de vacas, producción promedio de animales presentan mejores resultados económicos. Lopeset al. (2012) hicieron uso de la información de costos y condiciones similares de alimentación y ordeño para estimar y comparar algunos indicadores económicos y productivos en sistemas de lechería especializada de semi-confinamiento y confinamiento total; mediante métodos estadísticos simples como: la media, frecuencia de eventos, máximos, mínimos, entre otros. Encontrando que los sistemas de producción semi-confinados tuvieron viabilidad económica y condiciones de producción a corto, mediano y largo plazo, en contraste con los sistemas de confinamiento total, que a su vez, tuvieron margen bruto negativo, ya que los ingresos obtenidos no fueron suficientes para cubrir los gastos operativos necesarios. De manera similar, Pereira et al. (2016), aplicaron analítica descriptiva para comparar indicadores zootécnicos y económicos con el fin de conocer el efecto en tres indicadores de rentabilidad: ingreso neto anual, tasa de interés de retorno del capital invertido en bienes y margen de beneficio. Estos autores determinaron que la rentabilidad de la actividad lechera está relacionada con el uso eficiente de la mano de obra, el costo de alimentación (concentrado) y una mayor productividad por vaca (producción de leche). Sá Filho et al. (2018), analizaron la rentabilidad en cinco granjas lecheras mediante análisis estadísticos descriptivos de indicadores económicos como el margen bruto, el margen neto y el resultado (utilidad o pérdida), estimando la representación de cada componente del costo efectivo de

operación, sobre los costos finales de la actividad y el punto de equilibrio, identificando los costos de alimentación y mano de obra como los más representativos con un 45% y 25% respectivamente, encontrando que 4 de las 5 fincas presentan un margen neto positivo posibilitando la actividad a mediano- largo plazo, mientras que la finca restante presenta margen neto negativo y utilidad negativa por lo cual está en riesgo de perder patrimonio.

Otros autores han utilizado métodos de analítica predictiva para analizar posibilidades futuras a partir de patrones y relaciones entre los datos mediante técnicas de regresión o *machine learning*. Por ejemplo, en Oliveira (2007), fue estudiada la correlación entre indicadores zootécnicos y económicos por medio de análisis de varianza y regresión lineal múltiple, evidenciando la escala de producción como un factor importante para la rentabilidad, es decir, las fincas de mayor volumen de producción tuvieron menores costos y fueron más rentables. Sin embargo, existe una baja correlación entre el tamaño del hato ganadero con el retorno del capital. De manera análoga, Cabrera et al. (2008) emplearon modelos empíricos basados en la estimación de producción de Cobb-Douglas para el análisis de correlación entre el tamaño y el nivel de producción, concluyendo que no había evidencia de correlación entre el tamaño de la finca y el nivel de productividad, aunque, el rendimiento dependía de la tecnología adoptada. Resende et al. (2010) establecieron los principales determinantes de rentabilidad, a partir de un análisis de componentes principales (PCA), teniendo en cuenta 39 indicadores zootécnicos y 3 indicadores de rentabilidad como son: el ingreso neto, utilidad bruta y tasa de retorno; por medio de esta metodología señalaron que para obtener una rentabilidad positiva predominó un mayor costo de alimentación (concentrado) y una menor participación del costo de mano de obra como los indicadores más importantes para explicar la variación en la rentabilidad.

Estudios recientes como el de Villettaz Robichaud et al. (2019), evaluaron las asociaciones entre las medidas de productividad del hato y la rentabilidad de la finca usando indicadores de bienestar y confort de las vacas por medio de modelos de regresión lineal univariados y multivariados, los resultados establecieron que a mayor bienestar de las vacas se evidencia beneficios financieros a partir de aumento de la producción y la rentabilidad. Andrade Ferrazza et al. (2020), calcularon los coeficientes de correlación de Pearson para determinar la relación entre cada índice técnico y económico con la rentabilidad, posteriormente seleccionaron los índices más significativos. Los resultados de este trabajo revelaron interacciones significativas entre diferentes combinaciones de índices técnicos y financieros, tales como la intensificación en el sistema de producción de leche como determinante principal en los resultados económicos, debido a que los índices más correlacionados positivamente con la rentabilidad fueron la producción por vaca lactante y el área utilizada para la producción, adicionalmente, según estos autores, la rentabilidad depende principalmente del precio de la leche en comparación con los costos de insumos y otros factores.

En la analítica prescriptiva se relacionan técnicas de optimización y simulación que permiten determinar políticas o evaluar escenarios, para apoyar la toma de decisiones en las empresas y mejorar su nivel de servicio (Joseph & Johnson 2013). Los modelos de simulación agrícola también han sido útiles para el análisis y evaluación de sistemas alternativos, estos modelos permiten describir con precisión la evolución de los sistemas (Instituto de Ciencia Agrícola 1979). Un modelo de simulación estocástica bien planeado y diseñado permite probar diferentes escenarios, obteniendo resultados para el análisis de políticas (Swinton & Black 2000)). No obstante, la simulación matemática ha sido considerada de poca credibilidad en procesos agrícolas, ya que no tiene en cuenta interacciones potenciales o dinámicas de los hatos (Andrade Ferrazza et al. 2020). Por otra parte, la simulación matemática, brinda la oportunidad de evaluar relaciones que no se pueden explorar de otra manera. Se han desarrollado modelos de simulación de sistemas agrícolas, por ejemplo, Richardson & Nixon (1986), desarrollaron un

modelo estocástico de presupuesto de finca completa (FLIPSIM), simulando bajo riesgo de precio y rendimiento las actividades económicas anuales de una finca. Rotz et al. (1989), desarrollaron el modelo de sistema de forrajes de lechería (DAFOSYM) para evaluar tecnologías y estrategias de manejo en fincas. Milham (1992) desarrolló el modelo RISKFARM, el cual es un sistema estocástico de presupuesto que permitió la evaluación del desempeño financiero y los efectos de riesgo de las inversiones agrícolas y alternativas no agrícolas de las fincas australianas.

Por su parte, Schils et al. (2007) desarrollaron un modelo de simulación empírico (DairyWise) considerando procesos técnicos, ambientales y financieros, para analizar las estrategias agrícolas que se aplican en las fincas de manera individual y en agrupaciones que presentan condiciones similares, generando un plan agrícola que describía todos los flujos de materiales y nutrientes, y los efectos sobre la economía y el medio ambiente. En otro estudio, McCarthy et al. (2007), comparan la eficiencia económica (rentabilidad) de 3 genotipos diferentes de vacas Holstein Friesian, considerando diferentes sistemas de producción como Moorepark (MP), alto concentrado (HC) y alta carga ganadera (HS), los resultados muestran que el escenario de cuota de leche fija, la cepa New Zeland en los sistemas Moorepark y alta carga ganadera derivan en mayor rentabilidad, el genotipo North American de alta durabilidad en los sistemas Moorepark y Alta carga ganadera fueron los siguientes escenarios más rentables, mientras el genotipo North American de alta producción fueron menos rentables en todos los sistemas de producción considerados, concluyendo que la selección genética exclusiva en sistemas de producción de leche genera una reducción de la rentabilidad de la finca (McCarthy et al. 2007).

En otro estudio, se evaluaba cómo impacta la práctica de inseminación artificial en vacas vírgenes y vacas lactantes en la rentabilidad, estableciendo 5 hatos separados según tipo de semen utilizado, examinaron dos (2) opciones diferentes de disponibilidad de tierra para cada uno de los cinco hatos, cada uno de los 10 escenarios se evaluó en términos de rentabilidad con índices como: beneficio anual, flujo de efectivo anual y margen neto. Los resultados mostraron que el semen fresco utilizado en vacas lactantes durante las primeras 6 semanas de la temporada de reproducción genera mayor beneficio económico y existen efectos negativos de utilizar el semen congelado-descongelado en la rentabilidad de la finca (Hutchinson et al. 2013). La simulación también ha sido utilizada en el eslabón primario del sector lácteo para evaluar estrategias o alternativas de expansión, (McDonald et al. 2013) evaluó seis estrategias de expansión en períodos de 15 años utilizando indicadores de riesgo y estabilidad financiera como el margen neto, el cambio neto del patrimonio, el retorno de la inversión y el riesgo financiero, los resultados indicaron que la expansión de la finca lechera garantiza la rentabilidad a futuro sin depender de cuotas de leche gubernamentales aunque se asocia a un mayor riesgo, es decir, aumentar el número de vacas aumenta la capacidad total de la granja lechera una vez que se eliminan las cuotas lecheras, a comparación de permanecer estático, experimentando una reducción en la rentabilidad debido a la inflación de los costos de producción. En Irlanda realizaron una investigación utilizando simulación para analizar el efecto de la concentración en la alimentación o la intensidad del pastoreo en el desempeño económico de la finca, utilizaron cuatro (4) cargas de pastoreo (vacas/ha) y cinco (5) estrategias diferentes de suplementación alimentaria considerando diferentes precios de la leche, precios de compra de concentrados y ensilajes, determinando que una carga de pastoreo de 2,6 vacas/ha y una suplementación de 600 kg de ensilaje/vaca es el escenario más rentable, y que el factor más influyente en la variabilidad de la rentabilidad fue el precio de la leche (Ruelle et al. 2018). En Ahmed et al. (2020), examinaron mediante modelos de simulación el impacto de los cambios en las prácticas del bienestar de los animales (aumento de la asignación de espacio, disminución del tamaño del hato y una mayor proporción de forraje a concentrado) en el desempeño económico de las operaciones de engorde en sistemas de producción de carne y/o leche, los resultados mostraron que un aumento del número de animales asignados en 1 m<sup>2</sup> de espacio en

sistemas lecheros reduce en un 11% la rentabilidad de las fincas, además el aumento de proporción de forraje a concentrado de 40:60 a 65:35 se relacionó con la disminución de rentabilidad por animal del 53%.

En esta línea de analítica prescriptiva se encontraron estudios que desarrollaron modelos de programación matemática y algoritmos evolutivos en fincas lecheras. Berentsen & Giesen (1995) desarrollaron un modelo de programación lineal para maximizar los ingresos y determinar el efecto de los cambios institucionales, técnicos y de precios en el desempeño económico, los resultados mostraron que un gravamen sobre las pérdidas hace el uso de los pastizales menos intensivo y los ingresos pueden compensarse con un aumento de la productividad animal y vegetal. McCall & Clark (1999) hicieron uso de la programación lineal para comparar los factores que optimizan la producción de leche en los sistemas de pastoreo de Estados Unidos y Nueva Zelanda, concluyeron que el área de pasto óptima fue del 49%, la carga animal por hectárea fue de 1,13 vacas/ha, y la producción de leche fue mayor para los sistemas de Estados Unidos vs Nueva Zelanda debido a la caída de precios de los cereales (costo de insumos).

Stock (2000), analizó los determinantes de la competitividad económica en fincas lecheras utilizando programación matemática, observando que las fincas más grandes fueron más rentables, es decir, el número de bovinos es una variable significativa para aumentar los beneficios económicos de las fincas. Sin embargo, un año después, en contraste a la idea de Stock, en Noronha (2001) demuestran que el tamaño de la producción no está relacionado con la rentabilidad y que independientemente del tamaño de la finca, los resultados económicos podrían ser positivos.

En Lima (2006), desarrollaron un modelo de programación matemática y una función de frontera de producción estocástica como método de análisis, consideraron variables como el nivel tecnológico de la finca, costos veterinarios, valor del hato y producción de leche. Los resultados mostraron que los productores con mayor volumen de producción tiene los promedios más altos de eficiencia económica, corroborando la asociación entre escala y eficiencia económica, las fincas con menor presencia tecnológica tienen el promedio más alto de eficiencia económica 76% debido a la optimización de costos y la subutilización de la tecnología en las fincas con más presencia de esta, con relación al valor del hato determinaron una correlación positiva con los ingresos, en contraste con los costos veterinarios que presentaron un comportamiento inverso al valor de producción indicando que la salud del hato afecta la eficiencia económica de los sistemas de producción de leche.

En Cherepanov et al. (2019), resolvieron el problema de optimización del manejo del rebaño de vacas lecheras por medio de la sistematización de patrones empíricos previamente identificados y el desarrollo de un modelo numérico piloto, determinando los efectos bioeconómicos en vacas lecheras de diferentes razas, teniendo en cuenta la vida productiva, potencial de productividad, potencial de viabilidad y resistencia constitutiva. Hassani et al. (2019), plantearon una estrategia adecuada para la producción óptima con la máxima resiliencia y sostenibilidad en las fincas lecheras, mediante el desarrollo de un modelo de programación no lineal y el uso de algoritmos genéticos y de inteligencia de enjambre de objetivos múltiples para la evaluación del modelo. Esta estrategia demostró mejorar la resiliencia y sostenibilidad de la producción en las fincas lecheras, el indicador de resiliencia y sostenibilidad aumentó un 0,5% y la rentabilidad hasta un 0,23%, con relación al impacto ambiental las emisiones de gases de efecto invernadero y la intensidad energética disminuyeron a 0,09% y 0,02%, respectivamente.

## 2.5 Consideraciones finales

Luego de nuestra revisión de literatura se puede concluir que, han sido de interés el estudio de temas como: indicadores económicos, indicadores zootécnicos, productividad, rentabilidad y costos desde la década de los ochenta, sin embargo, su enfoque integrado y aplicado a la rentabilidad se ha presentado con mayor frecuencia en los últimos 10 años. En Colombia se carece de estudios enfocados a los determinantes de rentabilidad y su aplicación en otros países ha permitido definir cuáles son los indicadores zootécnicos y económicos que permiten determinar la rentabilidad en fincas lecheras, además de identificar oportunidades de obtener ganancias.

Con relación a los determinantes de rentabilidad, los estudios comúnmente consideraron variables asociadas al hato ganadero como: producción de leche, requerimientos de alimentación, indicadores de bienestar y costos veterinarios. Por su parte, entre las características asociadas al proceso de producción se han estudiado algunas como: costos de personal, mantenimiento, maquinaria y equipo y tamaño de la finca. Por otro lado, para evaluar la rentabilidad los autores utilizaron indicadores como lo son: ingreso neto, utilidad bruta y tasa de retorno.

Los hallazgos de la revisión muestran que han sido utilizados métodos de analítica descriptiva, predictiva y prescriptiva. Siendo la analítica prescriptiva el enfoque de solución más utilizado y la simulación el método más frecuente para evaluar escenarios, estrategias y análisis de sensibilidad enfocados a la medición de la rentabilidad. También observamos que, para analizar la correlación entre variables y el efecto de las determinantes sobre el cálculo de la rentabilidad (indicadores de rentabilidad) se han utilizado métodos como: análisis de componentes principales y regresión lineal.

# Capítulo III

## Metodología

La presente investigación propone un modelo de gestión estratégica que soporta la toma de decisiones en fincas lecheras para mejorar su rentabilidad. Dada las características del proyecto, la primera parte corresponde a una investigación descriptiva, ya que, se abordan en esta las características principales de los actores, procesos y prácticas del eslabón primario de la cadena láctea colombiana y se identifican los procesos y variables asociadas a la producción primaria de leche. La segunda parte corresponde a una investigación correlacional, que busca medir la relación que existe entre las variables encontradas y la rentabilidad del negocio lechero.

Para el desarrollo de este trabajo tuvimos acceso a la finca experimental "La montaña", del Centro De Prácticas y Desarrollo Agrario de la Universidad de Antioquia ubicada en el municipio de San Pedro de los Milagros, Antioquia. Esta finca se encuentra a una altura de 2.462 msnm, con temperatura promedio de 15°C; cuenta con una topografía de plana a ondulada y una extensión de 33,34 hectáreas, donde aproximadamente 55 vacas lactantes producen leche (en promedio 21,4 litros por vaca al día), de forma intensiva con pastoreo rotacional en franjas en sistemas silvopastoriles, kikuyo (*Cenchrus Clandestinus* Hoechst. ex Chiov. Morrone) como pastura predominante, con alguna presencia de ryegrass (*Lolium Perenne*). En esta finca validamos la información disponible por medio del uso de los registros contables, desarrollando índices y generando nuevas determinantes de la rentabilidad, en los casos en los que estos no se encontraban disponibles.

El diseño metodológico comprende, en primer lugar, la descripción general del eslabón primario del sector lácteo, a través del análisis de fuentes primarias y secundarias. En segundo lugar, los factores o determinantes de rentabilidad establecidos a partir de la revisión de la literatura y de la evaluación en una finca experimental. Por último, hicimos la medición de la rentabilidad de la finca experimental por medio de un modelo de gestión, seleccionado y diseñado teniendo en cuenta las variables determinantes establecidas.

### 3.1 Generalidades del eslabón primario

Con el objetivo de conocer las características principales del eslabón primario del sector lácteo, realizamos una búsqueda de fuentes de información primaria, secundaria y validamos la hipótesis: la baja productividad y competitividad del sector lácteo, se debe a la baja tecnificación y falta de conocimiento de sus productores. Para ello ejecutamos dos actividades principales (Ilustración 2)

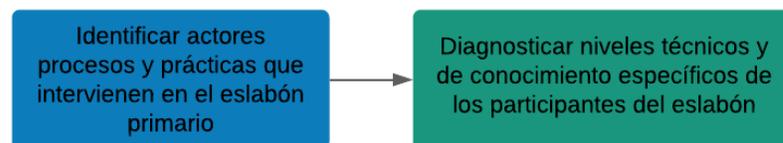


Ilustración 2. Actividades de la etapa I

Para las fuentes primarias realizamos un cuestionario a la finca experimental y entrevistas con expertos del sector (Anexo 1). Se seleccionó la finca experimental "La Montaña" como muestra para el experimento, siendo nuestro caso de estudio y aplicación. Esta finca hace parte del centro de prácticas y desarrollo agrario de la Universidad de Antioquia, lo que representa ventajas frente a la disponibilidad y colaboración en trabajos investigativos y experimentales. Al mismo tiempo, el trabajo con fincas experimentales asociadas a centros educativos corre el riesgo

de un posible sesgo debido a falta de representatividad de la población, sin embargo, se tuvo en cuenta que la finca es de un tamaño similar a las fincas de la región. Esta contrata de acuerdo a la normatividad laboral, cuenta con profesionales a cargo, suplementa de acuerdo con el estándar de la región y tiene animales con producciones bastante similares a las de otras fincas igualmente bien manejadas de la región del Norte de Antioquia.

Entre los datos que verificamos se encuentran: leche producida, área destinada a la producción de leche, número de vacas en lactancia, número de vacas adultas, número de novillas, hato total, mano de obra contratada, valor de la tierra y nivel de escolaridad de los trabajadores.

La construcción de esta etapa estuvo enfocada a describir variables del sector como inventario bovino, producción, consumo, participación económica del sector en el país, actores y procesos del eslabón primario. Investigamos en informes sectoriales y estudios de diagnóstico de entidades como FEDEGAN, DANE, ICA, entre otros. Para esto tuvimos en cuenta que las fuentes de información consultadas fueron las más recientes siguiendo los pasos sistematizados como se muestra en la Ilustración 3. La información generada, tiene la finalidad de contextualizar el sector lácteo colombiano a grupos de interés o investigadores, considerando datos generales, sus principales características y actores. Además, esta información es resumida en una infografía (Anexo 2).

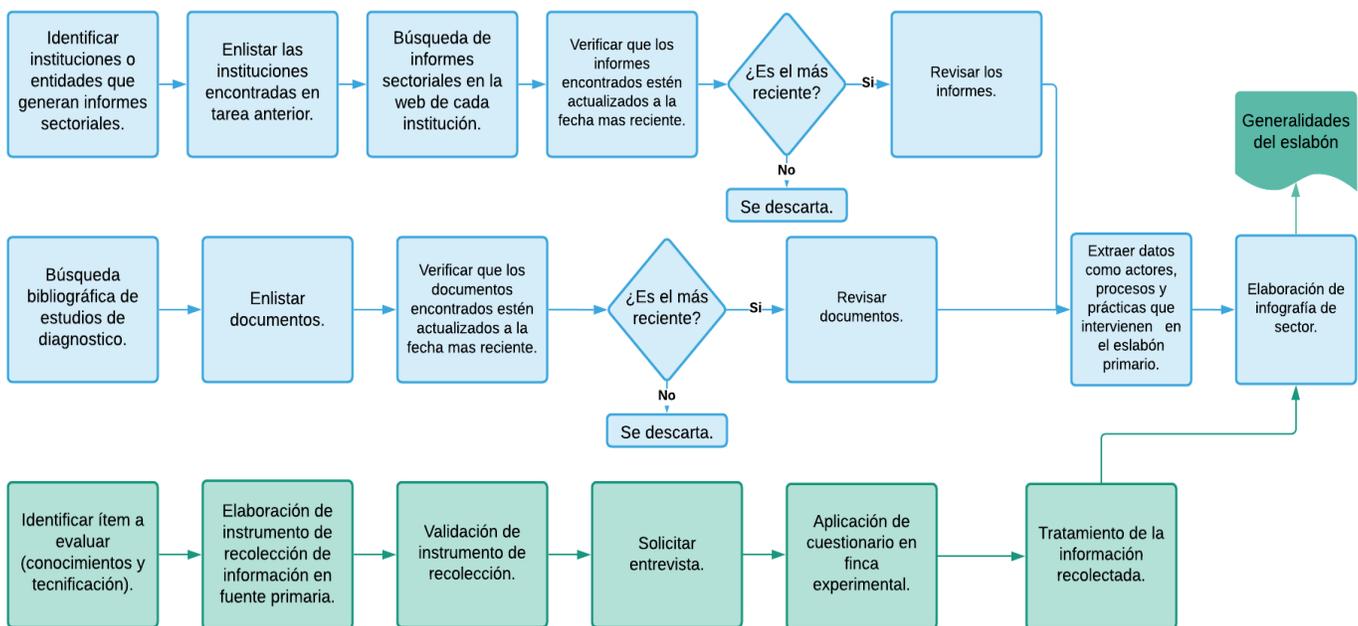


Ilustración 3. Tareas de identificación de actores, procesos y prácticas del eslabón primario.

### 3.2 Determinantes de rentabilidad

En la segunda etapa del estudio, seleccionamos las determinantes de rentabilidad y preseleccionamos las metodologías que utilizamos en el diseño del modelo final. Así mismo, comprobamos las siguientes hipótesis para corroborar el cumplimiento del objetivo de esta fase:

(1) Existe una asociación entre las variables seleccionadas y el cálculo de rentabilidad de la actividad. (2) Los métodos analíticos prescriptivos son los más utilizados, dada la necesidad de establecer diversos escenarios para analizar la sensibilidad y efectos de los determinantes en la rentabilidad.

Para establecer los factores o determinantes de rentabilidad, realizamos una revisión de literatura a partir de las citas y referencias de dos artículos semillas, estableciendo los siguientes criterios: 1) Estudio referente o aplicado en el eslabón primario del sector lácteo. 2) uso de enfoque de solución de analítica (descriptiva, predictiva o prescriptiva) y 3) referente al menos a un eje temático (Indicadores económicos, indicadores zootécnicos, rentabilidad, costos y productividad).

Identificamos y analizamos las metodologías y variables (entrada, salida e indicadores) utilizadas o propuestas por autores para la medición de la rentabilidad en fincas lecheras siguiendo los pasos como se muestra en la Ilustración 4.

Junto a un grupo de expertos del sector, seleccionamos aquellas variables que cumplieron los siguientes criterios: 1) Importancia o impacto dentro del contexto lácteo colombiano, dado el sistema de explotación más común en el país. 2) Inclusión de variables compatibles con sistemas de producción. 3) Variables de medición interna en la finca y no entre fincas. 4) Variables que no fueran redundantes. Luego, modificamos y adaptamos las variables de acuerdo con el tipo de medidas comunes en el país y unificamos en términos económicos, administrativos y zootécnicos de uso común, posteriormente se crearon índices de estas variables en función de los litros producidos. Para las variables respuestas seleccionamos tres indicadores de rentabilidad: utilidad después de costos de alimentación, margen bruto y tasa de rendimiento de capital invertido; por su pertinencia en el cálculo y la importancia para el sector. Para mantener la igualdad de unidad de medida, se crearon índices con estas variables respuestas en función de los litros producidos.

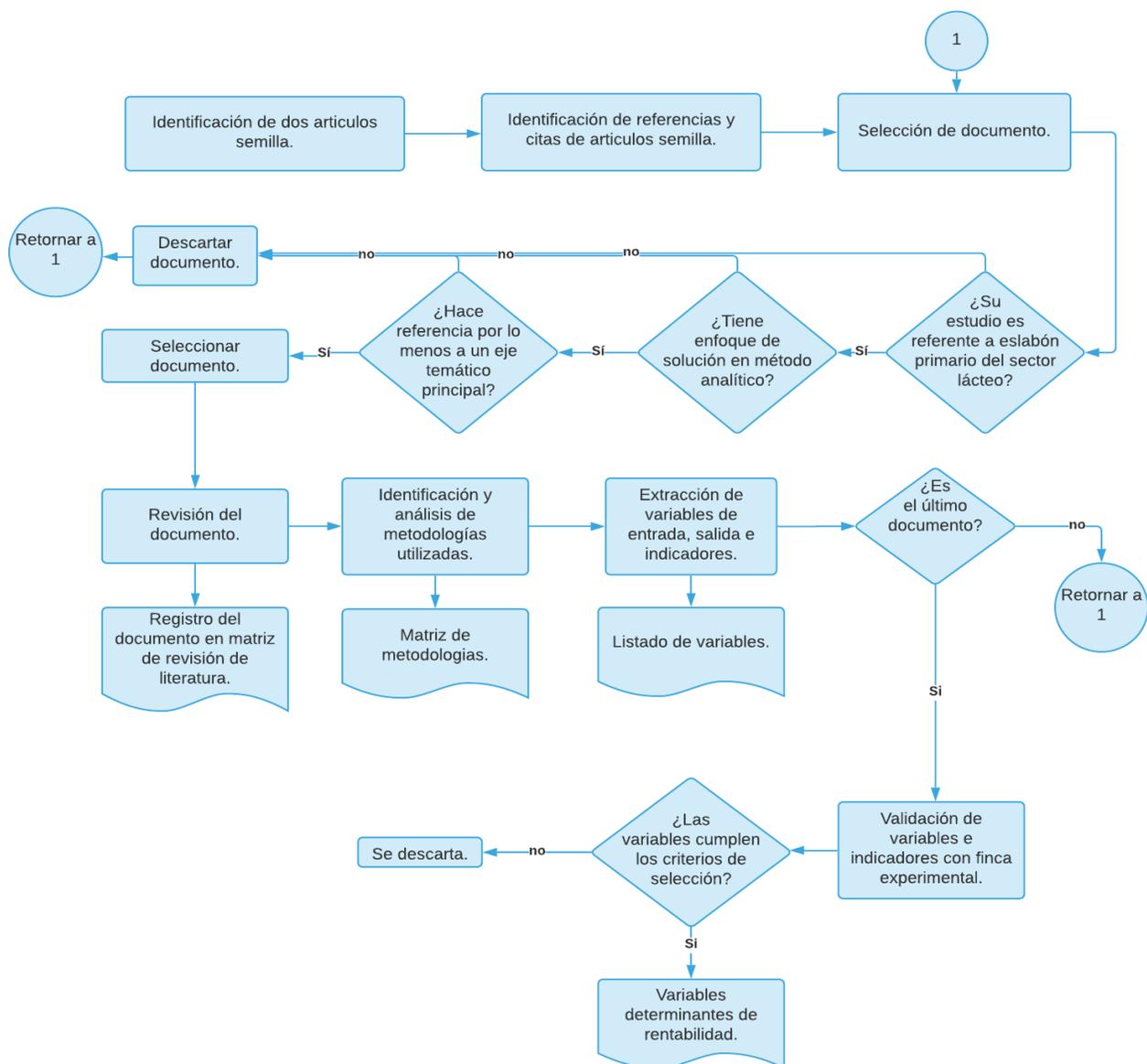


Ilustración 4. Revisión de literatura y selección de variables.

Para la recolección de los datos, validamos los registros contables que tenía la finca y junto al administrador a cargo de la producción realizamos la toma de datos necesarios para tener disponibilidad de información relacionada con las variables seleccionadas.

- El volumen de leche producida es el volumen total extraído diariamente el cual se reporta semanalmente, sin embargo, a pesar de que teníamos información diaria para esta y otras variables, para el desarrollo de nuestro modelo las llevamos a un período mensual.
- La venta de leche por litro producido corresponde al precio pagado al productor por litro producido en la región. Tomado de fuentes oficiales del sector que relacionan el precio,

teniendo las bonificaciones establecidas por ley y las voluntarias del acopiador regional al que se le despacha la leche (Colanta).

- La mano de obra por litro producido fue estimada a partir de las horas trabajadas, número de personas contratadas y costo pagado por hora de acuerdo con la clasificación como: operarios, profesionales, asistentes y administrativos en cada mes, dividido por litro producido.
- Los costos de ensilaje por litro producido están determinados por la cantidad de ensilaje que deben comer las vacas asignados en la formulación de alimentación de acuerdo con los requerimientos del National Research Council (NRC, 2001) por el costo unitario por kilogramo de ensilaje en el mes, dividido por litro producido.
- Los costos de alimento balanceado de lactantes por litro producido están estimados por la cantidad de concentrado asignado con base a los requerimientos del National Research Council (NRC, 2001) para las vacas que se encuentran en etapa de producción por el costo por kilogramo de concentrado al mes, dividido por litro producido.
- Para las vacas y terneros que no están en producción, su costo de concentrado por litro producido. Está dado por la cantidad de concentrado que se les suministra para alcanzar los requerimientos de las respectivas etapas, de acuerdo con el National Research Council (NRC, 2001) y el costo por kilogramo de concentrado al mes, dividido por litro producido.
- En cuanto a las variables de pasturas, como son los fertilizantes y fumigación, se tiene en cuenta la cantidad de fertilizantes y fungicida aplicado en el mes por su costo unitario respectivamente, dividido por litro producido.
- Para el costo de sanidad por litro producido tuvimos en consideración los registros contables correspondientes a costos por: desparasitación, medicamentos asociados a enfermedades y el esquema de vacunación que se haya presentado en el mes, dividido por litro producido.
- Para el proceso reproductivo, en la finca usan el método de inseminación artificial, en esta variable tomamos los registros contables correspondientes a este rubro al mes, dividido por litro producido.
- El costo de mantenimiento por litro producido está dado por los costos asociados al aseo y rutina de ordeño generados en el mes, dividido por litro producido.
- Los costos de maquinaria por litro producido, sacamos la proporción mensual de la máquina de acuerdo con su valor de compra, la vida útil y los meses de uso, dividido por litro producido.
- Con relación a las variables asociadas al capital como valor de bienes, tierra y semovientes, tuvimos en cuenta el valor comercial de edificaciones, establos, terrenos y animales por mes y dividimos por los litros producidos.
- Para el costo de transporte por litros producido tomamos las tarifas establecidas en la región de acuerdo con la distancia recorrida entre la finca y el centro de acopio al mes, dividido por litro producido.

Obtuvimos información correspondiente a 30 meses comprendidos entre el año 2018 y 2020 para cada una de las variables. Le hicimos la prueba de bondad y ajuste para conocer a qué distribución se ajustaba, esto con el fin de generar datos adicionales y cumplir con el mínimo de datos requeridos por variables, donde el teorema central del límite entre en vigor y para que las estimaciones de los modelos sean consistentes. Se simularon 70 datos, para un total de 100 observaciones para cada variable. Las variables que tuvieron parte de sus datos simulados de acuerdo con su distribución fueron: leche producida, valor de bienes, valor de la tierra, valor de semovientes, costos de transporte, costos de sanidad, costos por inseminación artificial, costo de maquinaria, venta de ternero y costos de mantenimiento. En la variable de venta de la leche nos remitimos a los históricos de precio de leche pagada al productor, en fuentes oficiales del sector para la región. En variables como costos de alimento balanceado de lactantes, costos de alimento balanceado de no lactantes, costos de fertilizantes, costos de fumigación y costos de ensilaje, tuvimos en cuenta la variación del índice de precio al consumidor (IPC) y de acuerdo con este, generamos los datos requeridos. Por último, para la mano de obra contratada tuvimos en cuenta la variación año a año del salario mínimo legal vigente en el país.

Hicimos uso de gráficos como caja y bigotes (box and whiskers), histogramas, gráficos de densidad y cálculo de medidas de tendencia central a través del software R Studio; con el fin de analizar el comportamiento de los datos, identificar anomalías y hacer análisis de datos atípicos. Para probar la primera hipótesis de esta etapa realizamos matrices de correlación de Pearson de los datos correspondientes a las variables de entrada con respecto a las variables de salida seleccionadas, descritas anteriormente.

En la segunda parte de esta etapa verificamos la información y datos disponibles en la finca obtenidos anteriormente. Además, establecimos criterios para determinar qué técnicas o metodologías son válidas para nuestro caso de estudio: 1) La metodología está alineada con las variables respuesta que deseamos obtener; 2) Esta metodología permite analizar la relación entre las variables de entrada y las variables de respuesta. Las metodologías preseleccionadas fueron socializadas con el equipo de trabajo y analizadas para determinar cuáles permiten establecer las relaciones causa efecto entre las variables de entrada y salida.

### **3.3 Modelo de gestión de rentabilidad**

Teniendo en cuenta las metodologías encontradas en la revisión de la literatura y los criterios de selección de metodología, definimos aplicar tres métodos: 1) Análisis de componentes principales como herramienta para reducir las dimensiones de entradas preseleccionadas y así simplificar la complejidad conservando la información, 2) El modelo de regresión lineal múltiple para establecer las relaciones causa efecto entre las variables de entrada y salida, 3) Regresión lineal múltiple aplicada a la resultante de componentes principales. En cada método desarrollamos un modelo por variable respuesta para explicar la rentabilidad de la finca.

Componentes principales: en el software R Studio cargamos los datos correspondientes a las variables de entrada. Separamos en entrenamiento con un 70% de los datos y para validación un 30%, con la misma semilla de número aleatorio. Corrimos funciones de PCA y prcomp del paquete de FactoMineR; consideramos los componentes que explicaran al menos el 75% de la variabilidad de los datos, extrajimos la contribución de cada variable, graficamos los pesos de los componentes y la dirección para analizar su comportamiento. Con esto se generó

el modelo de componentes principales. Por último, calculamos las predicciones del modelo con el fin de comparar los valores reales y los predichos. De esta manera también validamos los modelos con las medidas de desempeño RMSE, MSL, R cuadrado y correlación.

Regresión lineal múltiple: en el software R Studio cargamos los datos correspondientes a las variables de entrada y variables respuestas. Separamos en entrenamiento con un 70% de los datos y para validación un 30%, con idéntica semilla de número aleatorio. Seguimos los pasos propios de una regresión lineal múltiple, los cuales constan de validar la normalidad de la variable respuesta con un nivel de significancia del 5%, corrimos función `lm` del paquete `CAR` para generar el modelo de regresión y descartamos las variables sin nivel de significancia o posible multicolinealidad según el VIF, corroboramos los supuestos del modelo y los residuales (normalidad, varianza constante e independencia). Como paso final, calculamos las predicciones del modelo con el fin de comparar los valores reales y los predichos, de esta manera también validamos los modelos con las medidas de desempeño RMSE, MSL, R cuadrado y correlación.

Regresión lineal múltiple aplicada en componentes principales: en el software R Studio cargamos los datos correspondientes a las variables de entrada. Corrimos funciones de PCA y `prcomp` del paquete de `FactoMineR`, y este fue el insumo de entrada para el modelo de regresión lineal múltiple junto a las variables respuesta. Separamos en entrenamiento con un 70% de los datos y para validación un 30%, con la misma semilla de número aleatorio. Seguimos los pasos propios de una regresión lineal múltiple, los cuales constan de validar la normalidad de la variable respuesta con un nivel de significancia del 5%, corrimos la función `lm` del paquete `CAR` para generar el modelo de regresión y descartamos los componentes sin nivel de significancia o posible multicolinealidad según el VIF, corroboramos los supuestos del modelo y los residuales (normalidad, varianza constante e independencia). Después de obtener lo anterior, calculamos las predicciones del modelo con el fin de comparar los valores reales y los predichos. De esta manera también validamos los modelos con las medidas de desempeño RMSE, MSL, R cuadrado y correlación.

Para la última etapa en esta investigación comprobamos la hipótesis: El modelo desarrollado en nuestra investigación cumple con la capacidad de cálculo de la rentabilidad en situaciones reales de manejo en el sector productor de leche colombiano. Para ello, en la selección de la metodología y modelo comparamos las medidas de desempeño calculada en cada uno, escogiendo los que presentaran menor error, mayor R cuadrado y más alta correlación entre predichos y reales.

### **3.4 Consideraciones finales**

Esta metodología sirvió para evaluar las relaciones causa-efecto de los parámetros de entrada y los indicadores de rentabilidad, permitiendo establecer las determinantes de rentabilidad de la finca en este caso estudiada. Sin embargo, debe entenderse que el alcance o las conclusiones que pudimos obtener de este se enmarcan en la recolección de datos contables y productivos de la finca caso de estudio correspondiente a 2,5 años (2018 - 2020), a partir de estos datos se simularon 70 muestras adicionales con el fin de cumplir una muestra representativa que comprende los años de 2012 a 2020 para la modelación y análisis. Nuestra finca caso de estudio pertenece al centro de prácticas y desarrollo agrario de la Universidad de Antioquia, la cual representa ventajas de trabajo colaborativo, no obstante, esta finca presenta algunas condiciones no comunes en el sector, como la mano de obra calificada a cargo de la

producción y la sanidad de la finca, lo que, desafortunadamente, no es la norma para las fincas de la región.

Se establecieron tres metodologías: análisis de componentes principales, regresión lineal múltiple y regresión lineal múltiple aplicada a la resultante de componentes principales, que serán evaluadas con un grupo de métricas para validar, asimismo, seleccionar el modelo con mejores medidas de desempeño y conocer las determinantes de rentabilidad. En cuanto al análisis de datos y los modelos, se ejecutaron en el software R Studio. Nuestra investigación es una ayuda útil para los responsables de toma de decisiones en las fincas lecheras debido a que origina conocimientos e implicaciones para la gestión de rentabilidad a partir de las determinantes de rentabilidad.

# Capítulo IV

## Resultados

## 4.1 Generalidades del eslabón primario del sector lácteo colombiano

### 4.1.1 Inventario Bovino

Colombia se ha caracterizado por ser un país ganadero, dado su diversidad de suelos, topografías y climas (FEDEGAN 2018a), lo que le otorga la posibilidad de introducir diferentes razas bovinas bajo diversos sistemas de producción como la lechería especializada, la ganadería doble propósito y el sistema de cría y ceba de animales (CEDAIT 2020). Los datos evidencian que el sector lácteo es uno de los de mayor impacto social y potencial de desarrollo en Colombia (UPRA & Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural 2020), esto se comprueba con el hecho que para el año 2020 la ganadería contó con un total de 615.367 predios, segunda cifra más alta en los últimos 10 años, no obstante, haber experimentado una disminución del 1,37% respecto al 2019, con 8.427 predios menos (FEDEGAN 2020) (Gráfico 5).

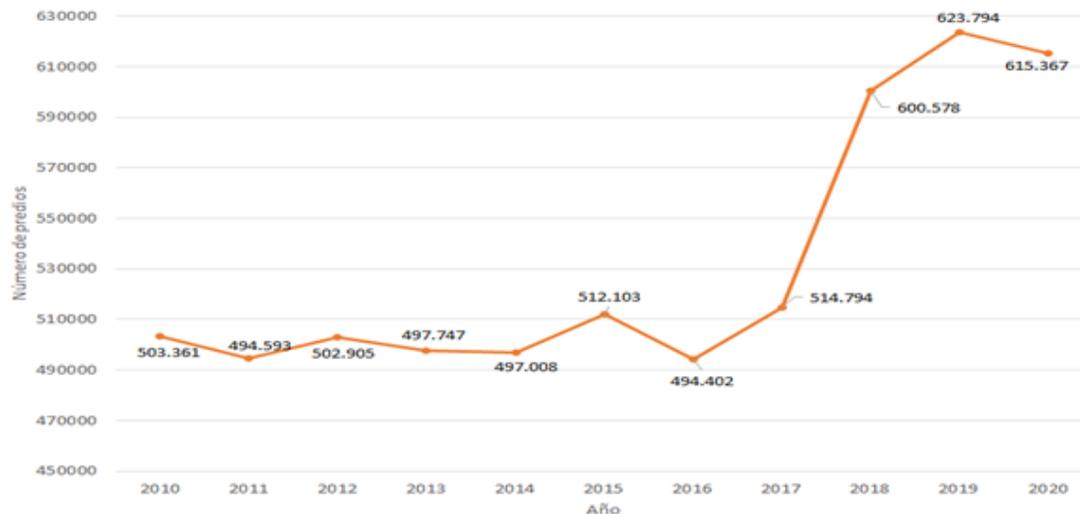


Gráfico 5. Número de predios por año en Colombia.

En el país se calculó un inventario vacuno de 28.832.858 cabezas para el año 2020, representando un 5,87% adicional en comparación con el 2019 (FEDEGAN 2020) (Gráfico 6). Sin embargo, este aparente gran número de cabezas comparativamente con países de una extensión similar no representa ventaja, ya que la productividad por animal es más baja en Colombia que en la gran mayoría de países desarrollados para la lechería (FAOSTAT 2020; UPRA & Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural 2020). En el año 2017 se presentó el mayor aumento en los números de vacunos en los últimos 10 años, con un valor del 12,9% respecto al año anterior, considerándose esto como un punto de inflexión llamativo (FEDEGAN 2020).

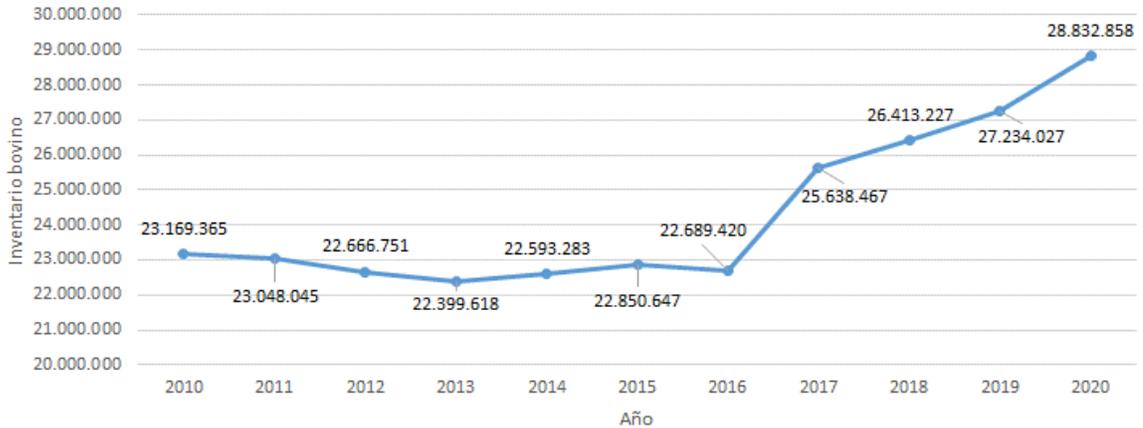


Gráfico 6. Inventario bovino por año en Colombia.

El inventario vacuno se reparte en tres sistemas de producción: producción de carne (43%), leche especializada (12%) y doble propósito, es decir: venta de leche y carne (45%) (FAOSTAT et al. 2019; ICA 2020a). En Colombia, el inventario de cabezas es utilizado para clasificar a los productores en pequeños (1 a 50 cabezas) con un 82% de los productores totales, medianos (100 a 500 cabezas) representados en el 17% de los productores y los grandes (500 o más cabezas) con participación menor del 1% de los productores (ICA 2020a).

#### 4.1.2 Producción

En el eslabón primario del sector lácteo colombiano, aproximadamente el 57% del inventario vacuno o hatu ganadero estuvo dedicado a la producción de leche en algún momento de su ciclo de vida (lechería especializada y doble propósito) (DANE 2019; ICA 2020a). Los productores que utilizan el sistema doble propósito producen en promedio 4 L/día por vaca y bajo el sistema de lechería especializada un promedio de 13 L/día por vaca (CEDAIT 2020). En función de lo anterior y el inventario animal orientado a cada sistema de producción, el promedio de leche cruda producida al día en el año 2020 fue 20.254.795 L/día, donde 40% proviene de sistemas de leche especializada y el 60% restante de sistemas de producción de doble propósito (DANE 2019). Generando una producción anual de 7.393 millones de litros de leche para el año 2020, representando un crecimiento de 2,83% respecto del año 2019 (Gráfico 7) (DANE 2019; FAOSTAT 2020).

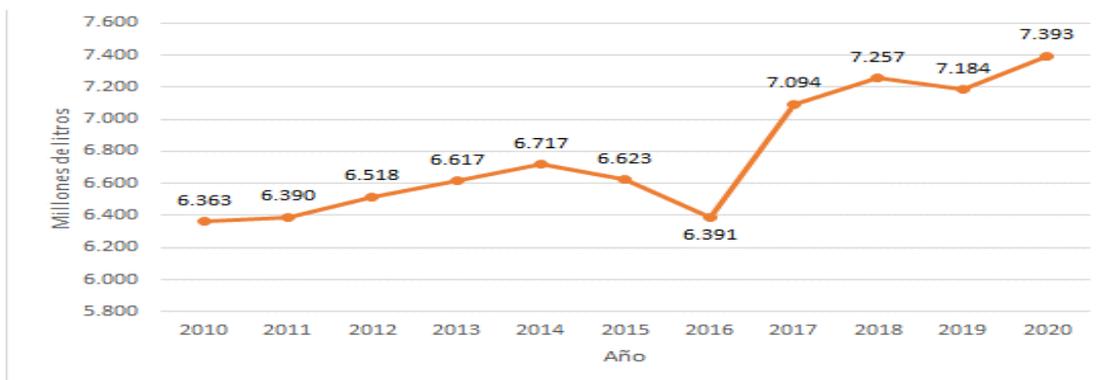


Gráfico 7. Producción anual de leche en Colombia.

En comparación con otros países, la producción de leche por día de nuestro país se encuentra por debajo de países como Estados Unidos, India, Brasil, Alemania, China, Rusia, Francia y Nueva Zelanda. A pesar que Colombia ocupa posiciones bajas entre el listado de países productores, algunos departamentos como Cundinamarca, Antioquia y Valle del Cauca están por encima de la producción de litros diarios de leche por vaca de países potencia en lácteos como Brasil e India (Agronegocios 2021b).

La producción de leche se encuentra distribuida en las diferentes regiones del país, el 59,4% de la producción está concentrada en la región Andina, en segundo lugar, se encuentra la región Caribe con el 18,8%, posteriormente las regiones Pacífica, Orinoquia y Amazonia concentran el 9,8%, 8,5%, y 3,5% respectivamente (Agronet 2020). Además, en el país se reconocen 8 macrocuencas productoras de leche dentro de las regiones (Tabla 1) (CEDAIT 2020).

Región	Macrocuenca	Departamentos
Andina	Centro	Cundinamarca y Boyacá
Orinoquía	Orinoquía	Meta, Casanare, Arauca y Vichada
Andina	Antioquía	Antioquia, Eje cafetero y Chocó
Andina	Santanderes	Santander y Norte de Santander
Caribe	Caribe Seco	Cesar, La Guajira, Magdalena y Atlántico
Caribe	Caribe Húmedo	Córdoba, Sucre y Bolívar
Pacífico	Suroccidente	Nariño, Cauca y Putumayo
Andina - Amazonia	Suroriente	Tolima, Huila y Caquetá

Tabla 1. Macrocuencas de producción de leche en Colombia.

Existe una diferencia entre la cantidad de leche producida y el acopio de la misma, es decir la leche que es trasladada a centros de acopio e industriales para ser transformada y comercializada; La cantidad de leche que no es acopiada es más de la mitad de la producida según Fedegán, es decir, que la informalidad y el consumo interno de los productores es mayor

que la acopiada. Durante los últimos 10 años, los litros de leche acopiados han fluctuado, entre 2011 y 2015 creció a una tasa anual promedio del 4,4%, alcanzando un valor de 3.286 millones de litros. Sin embargo, para 2016 disminuyó a 2.941 millones de litros. Este declive se le atribuye al impacto causado por el Fenómeno del Niño, que se dio entre 2015 y 2016 (Asoleche 2017; FAOSTAT et al. 2019). A nivel departamental, Cundinamarca, Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Nariño, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca son donde más se realiza acopio formal, entre 2010 y 2019 tuvieron un promedio al mes de 206 millones de litros leche acopiada (FAOSTAT et al. 2019).

#### **4.1.3 Participación económica del sector**

El impacto económico del eslabón productivo lácteo en Colombia, radica en la contribución de la ganadería y la producción de derivados lácteos al productor interno bruto del país (1,40%). El sector representó el 12,10% del PIB agropecuario para el año 2020, un 2,8% adicional en comparación con el 2019 (Agronegocios 2021a). Esta participación se ve afectada negativamente por el destino que tiene la leche producida en el eslabón primario, en términos generales el 7% es de consumo interno o procesado en el predio (finca) de origen, el 45% es comercializado informalmente (producción de quesos artesanales, otros productos como el suero y consumo humano directo), y el restante 48% es comercializado formalmente y utilizado para la producción de leches líquidas, leche en polvo, quesos, entre otros productos (UPRA & Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural 2020).

Se destaca que la producción de leche destinada al negocio informal representa aproximadamente la misma proporción de la producción de leche comercializada en el canal formal, debido a una cultura de ilegalidad, falta de cumplimiento normativo y falta de educación al consumidor (UPRA & Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural 2020). No obstante, en Colombia, la participación económica del sector lácteo tiene un impacto social importante debido a la proporción significativa (82%) de productores pequeños (1 a 50 bovinos) o grupo de productores que identifican la producción de leche como una actividad económica atractiva para su sustento familiar (UPRA & Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural 2020).

#### **4.1.4 Consumo**

El sector lácteo en Colombia observa un aumento en el consumo de leche soportado en el crecimiento del consumo per cápita aparente desde el año 2016, superando los 150 L/hab en el año 2020 (156 L/hab) (Gráfico 8).

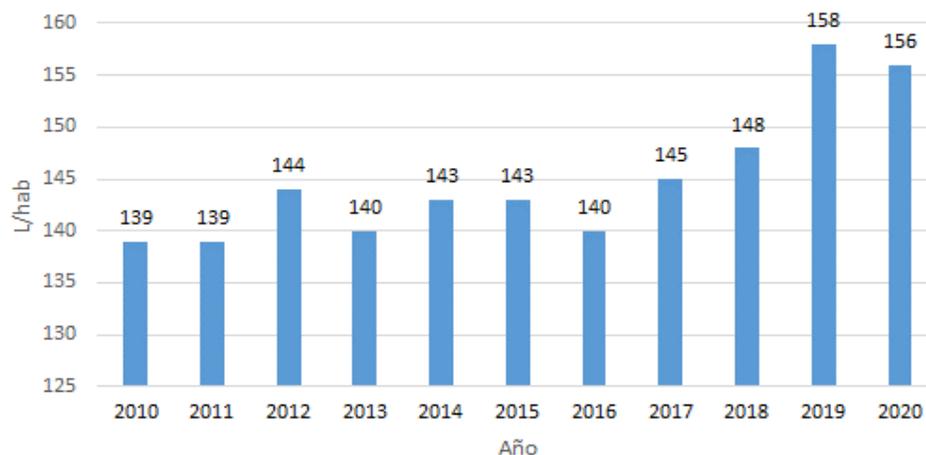


Gráfico 8. Consumo aparente per cápita anual Leche.

Adicionalmente, el sector lácteo colombiano ha presentado un aumento del 80,53% en el déficit comercial en el período 2017 – 2020 (balanza comercial), evidenciado en un aumento de las importaciones en 68,12% y una disminución de las exportaciones en 17,23% en el mismo período (Gráfico 9) (FEDEGAN 2020). Por lo cual, el sector lácteo colombiano no ha podido aprovechar las oportunidades de acceso a nuevos mercados debido a los acuerdos comerciales. Para el año 2019 las importaciones representaron el 6% de la producción y el 14% de la leche acopiada (UPRA & Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural 2020).

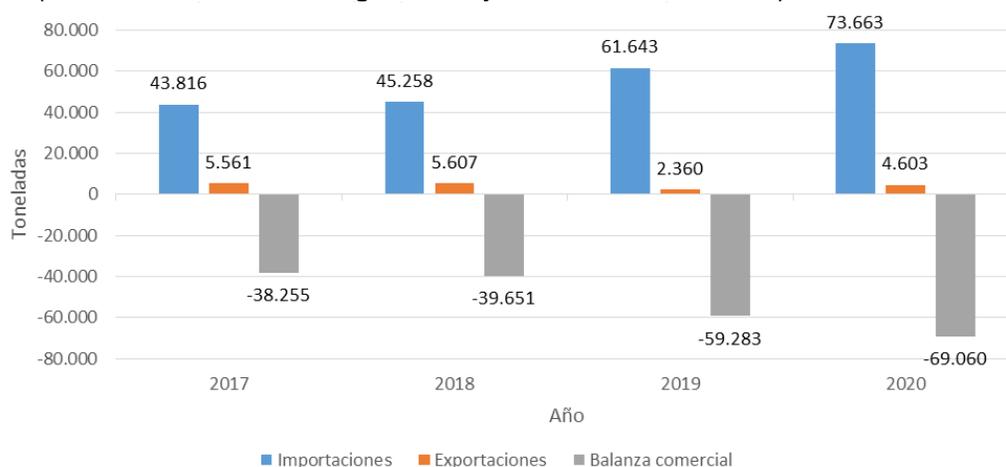


Gráfico 9. Importaciones vs exportaciones de leche y derivados lácteos 2017 – 2020

#### 4.1.5 Actores y procesos

Según la FAO (2016), los actores y componentes de una cadena de abastecimiento agroalimentaria está compuesta por un conjunto de vínculos que se desarrollan a lo largo del camino de un producto o servicio agropecuario, que va desde la generación de insumos para la producción primaria hasta el consumidor final. Dentro de la cadena de abastecimiento láctea se identifican seis actores: proveedor de insumos, productor primario, acopiadores, industria procesadora, comercializadores y consumidor final (Simanca et I. 2016). Internamente alrededor de estos seis actores existen agentes transversales que son complementarios a cada uno de

estos, como: los entes públicos, las Universidades, centros tecnológicos, entes de apoyo, entidades de asistencia técnica, los gremios y las entidades financieras.

El eslabón lácteo colombiano puede ser analizado desde la perspectiva de variables sociodemográficas como: nivel de escolaridad, percepción de pobreza, edad, género e ingresos económicos. En Colombia el eslabón primario lechero en su uso de tierras, animales, mano de obra y tecnología para la producción de leche como actividad económica tradicional del país, carece de productores altamente calificados en relación con el grado de escolaridad adquirido (UPRA & Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural 2020). Prevalece el tipo de producción donde los campesinos tienen hectáreas de tierra destinadas a la producción de leche mediante extracción manual (ordeño manual), lo que hace el proceso menos tecnificado. No obstante, también se encuentran (en menor frecuencia) fincas lecheras con sistemas automatizados para la extracción y almacenamiento de leche. El 59% de los productores solamente alcanzan la primaria, el 4% es tecnólogo o profesional y un 16% no han accedido a educación en cualquier nivel (Gráfico 10) (UPRA & Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural 2020).

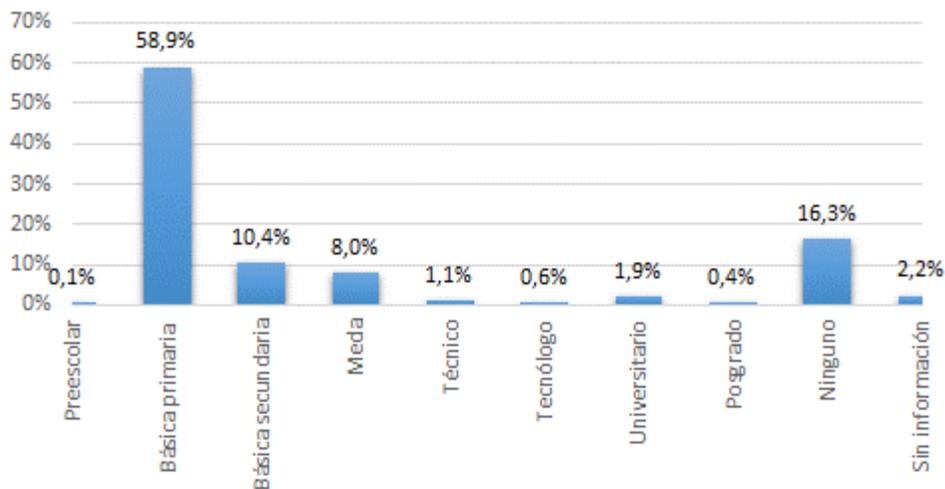


Gráfico 10. Niveles de escolaridad de los productores.

El 63% de la gente del campo tiene la percepción de pobreza en su hogar, lo anterior se puede explicar a la falta de acceso a los servicios de alcantarillado (95%) y acueducto (65%), niveles de escolaridad (85%, bajo logro educativo) y condiciones de vivienda (Gráfico 11) (UPRA & Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural 2020). Además, el 94% de la población se encuentra afiliado a salud, donde el 16% de los afiliados corresponde al régimen contributivo, el 83% al régimen subsidiado y el 1% restante al régimen especial (UPRA & Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural 2020).

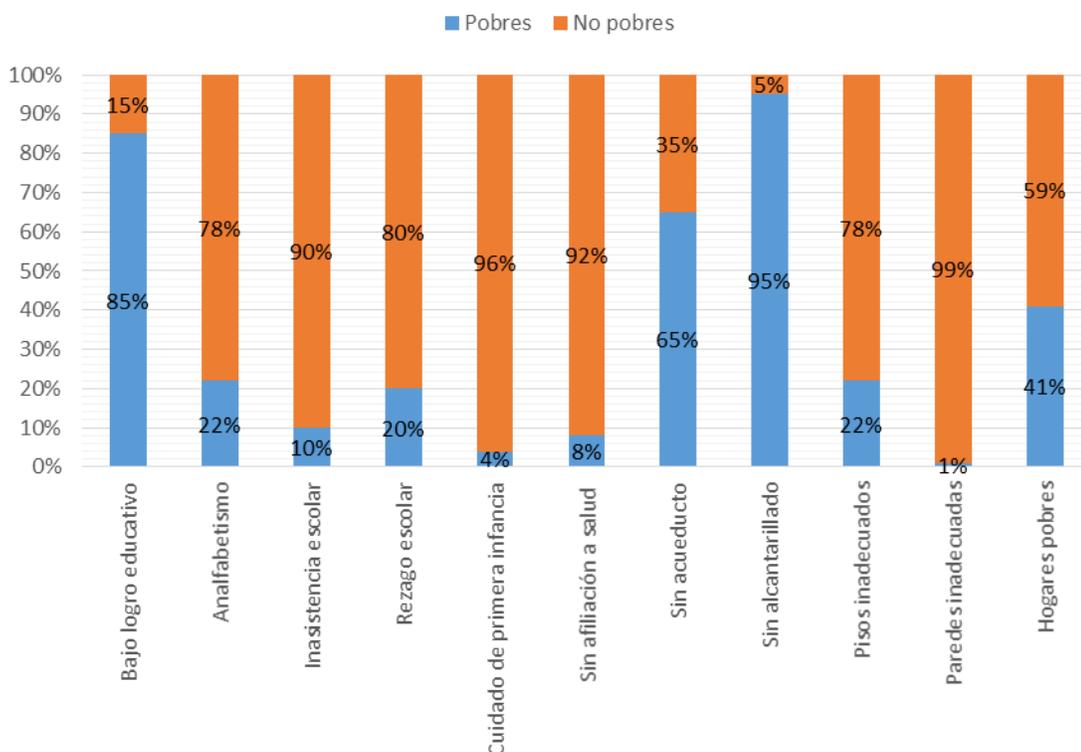


Gráfico 11. Factores asociados a la percepción de pobreza.

En relación con la edad, el 42% de los productores está en edad adulta (de 27 a 59 años), seguido de adultos mayores con una participación del 15%. En cuanto a distribución de género, hombres y mujeres están representados por el 53% y 47% respectivamente de la población participante en el eslabón primario colombiano (Gráfico 12) (UPRA & Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural 2020).

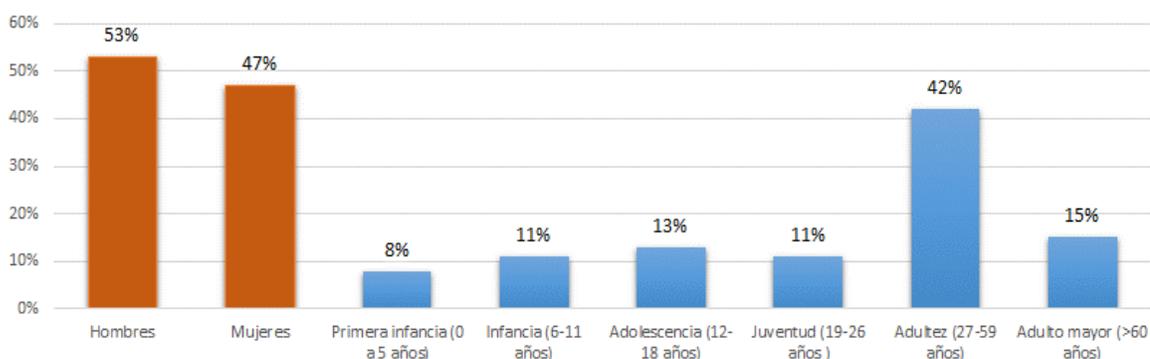


Gráfico 12. Distribución y participación de la población por género y grupos de edad.

La remuneración en promedio a los productores a nivel nacional para el año 2019 estaba por encima de los \$30.000 por día, en zonas de mayor producción lechera como en la región Andina, en departamentos como Cundinamarca y Boyacá es mayor. Sin embargo, en casos como el Meta sus altos costos por jornada (valor pagado al trabajador por día), se ve influenciado por la industria petrolera. Departamentos como Atlántico y Cauca se han mantenido desde 2013 por

debajo del promedio nacional. Lo anterior se debe a que demanda menor mano de obra calificada (Gráfico 13).

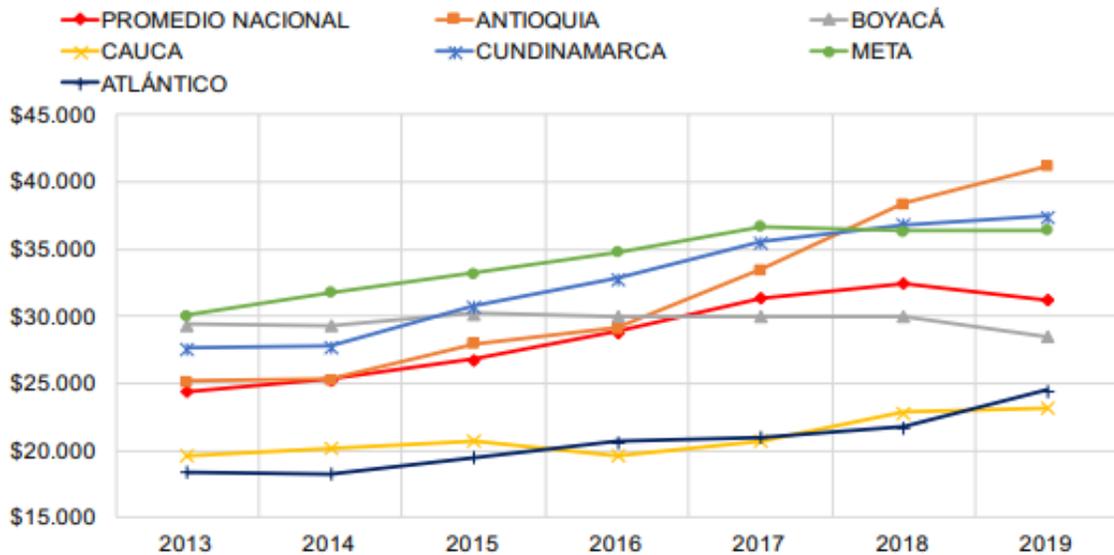


Gráfico 13. Valor promedio del jornal pecuario en Colombia 2013-2019.

### Organización de las actividades en fincas de lechería especializada

En la ganadería de leche especializada, la producción de leche se inicia a partir del evento cría, desde este se separan de acuerdo a su sexo. Los machos son vendidos en los primeros días de vida (manejo tradicional) y las hembras pasan a ser los reemplazos de las vacas en etapa de producción y se mantienen con una alimentación y manejo especial que garantiza la excelente calidad de las futuras vacas de las fincas. Las crías hembras pasan a etapa de levante y luego novillas de vientre, las cuales son introducidas a etapa de gestación por inseminación artificial o monta natural y se repite el ciclo del parto de la hembra. Las vacas pueden ser descartadas o vendidas en cualquier momento de acuerdo con su desempeño productivo y reproductivo (Lopez & Vasquez 2009). El periodo promedio de descarte en el país, es mayor a los 4 partos, lo cual significa una edad cercana a los 10 años (Ilustración 5).

La duración promedio de una vaca en etapa de producción de leche es de 305 días, período durante el cual, además de producir leche, se debe introducir el animal nuevamente al programa reproductivo lo antes posible y lograr una nueva gestación mediante monta natural o inseminación artificial, esta última es la comúnmente utilizada. Al cesar la lactancia y avanzar la gestación la vaca es catalogada como vaca seca, este período dura entre 40 y 70 días y desencadena un nuevo parto y por consiguiente una nueva lactancia.

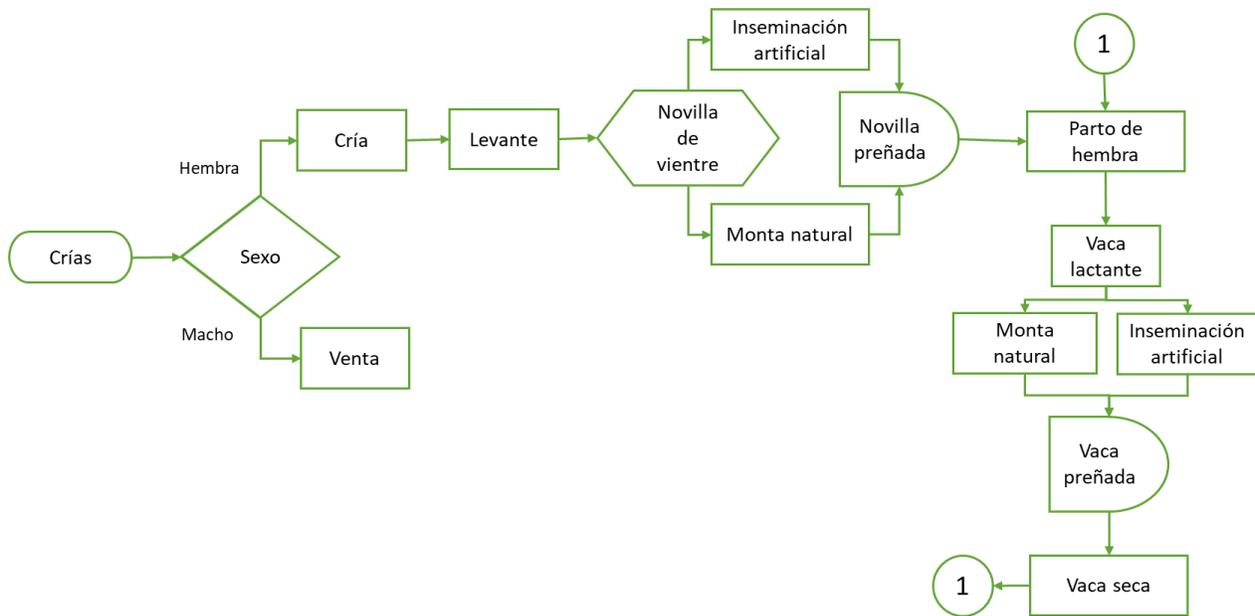


Ilustración 5. Proceso de Cría.

### Proceso de ordeño en lechería especializada

En cuanto al proceso de recolección de leche en el eslabón primario, se identifican tareas del pre-ordeño, ordeño y post ordeño (Ilustración 6). Este proceso se realiza en dos jornadas con el fin de recolectar la producción diaria de leche que será recogida por los acopiadores. Para el pre-ordeño se garantiza que las tuberías, pezoneras y equipos en general estén desinfectadas previamente al ingreso de las vacas; cuando las vacas ya han sido trasladadas desde el potrero e ingresan a la sala de ordeño, inicia el proceso de ordeño. Se les hace despuntes, el cual consiste en el descarte de los primeros chorros de leche para observar anomalías; luego un pre sellado (pre-dip) de los pezones, que cumple con funciones de desinfección de pezones para la prevención de infecciones y el secado de los pezones con papel absorbente después de pasados 30 segundos de contacto del desinfectante en las ubres. Una vez limpios y secos los pezones se instalan y alinean las pezoneras para iniciar la extracción mecánica de la leche. Durante este proceso se le suministra el alimento balanceado, el ensilaje o grasa de acuerdo con la ración establecida para cada vaca. Finalizada la extracción se realiza el sellado post ordeño (post-dip) de los pezones y la leche es almacenada de manera inmediata por el sistema directo de tuberías a tanques de almacenamiento. Durante el post ordeño se utilizan breteles para suministrar medicamentos a las vacas que lo requieran o se insemina aquellas que hayan sido detectadas en celo 12 horas antes, se retornan las vacas al potrero y se realiza la limpieza de equipos y espacios para garantizar la higiene durante todo el proceso.

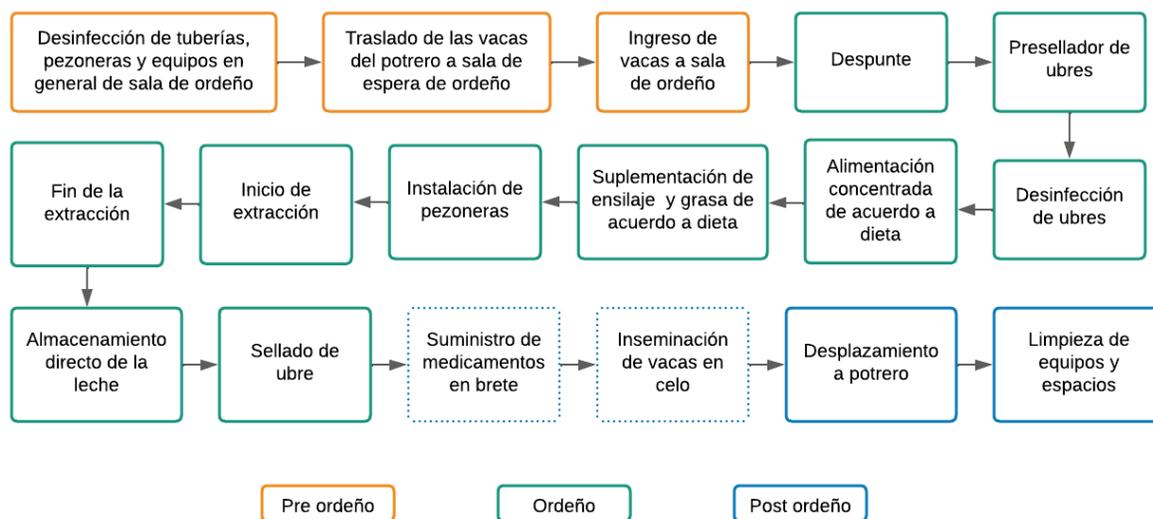


Ilustración 6. Proceso de ordeño.

#### 4.2 Determinantes de la rentabilidad

Luego de la revisión de la literatura y el análisis de las generalidades del sector lácteo colombiano, analizamos las variables o parámetros de entrada, que por su impacto en la operación podrían estar estrechamente relacionadas con la rentabilidad del negocio lechero. En este apartado, evaluamos el comportamiento de las variables por medio de análisis estadístico y las correlaciones entre las variables predictoras y respuestas de acuerdo con su agrupamiento en relación con estas. Lo anterior, soporta la toma de decisión en la selección de variables para aplicar las metodologías de análisis de componentes principales, regresión lineal múltiple y regresión lineal múltiple aplicada a componentes principales.

Entre los parámetros de entrada encontramos los asociados a los ingresos, capital y costos:

<b>Ingresos</b>	<b>Capital</b>	<b>Costos</b>
Venta Leche /L	Valor de los bienes/L	Mano de obra contratada/L
Venta de ternero/L	Valor de la tierra/L	Costo de Transporte/L
	Valor en semovientes/L	Costo de Ensilaje/L
		Costo alimento balanceado de lactantes/L
		Costo alimento balanceado de no lactantes/L
		Costo fertilizante/L
		Costos de fumigación/L
		Costos de sanidad/L

Costo de inseminación  
artificial/L

Costos de maquinaria/L

Costos de mantenimiento/L

Para medir la rentabilidad se consideran tres indicadores: utilidad después de costos de alimentación por litro producido, margen bruto por litro producido y tasa de rendimiento de capital por litro producido.

#### 4.2.1 Parámetros de entrada

Todos los parámetros de entrada son variables continuas, dado su comportamiento indican que siguen una distribución normal. De acuerdo con el análisis de medidas de tendencia central y varianza, el valor de bienes por litro producido, el costo de sanidad por litro producido y venta de leche por litro producido ocupan el top 3 de variables con menor variación. Lo anterior se soporta en la baja inversión de bienes en los últimos ocho años, así como también planes de sanidad poco variables en el tiempo y la poca variación del precio de la leche que influye en la venta de la leche; aun cuando ha aumentado año a año, no ha sufrido cambios significativos respecto a períodos anteriores. En el top 3 de mayor variabilidad se encuentra el costo de alimento balanceado de no lactantes por litro producido, los cuales están influenciados por el tamaño del hato que no se encuentre produciendo leche y el costo del alimento balanceado. En segundo lugar, la venta ternero por litro producido, los cuales dependen del nacimiento de terneros. Por último, el costo de maquinaria por litro producido, aun cuando no se evidencia compra frecuente, se ve influenciada por la proporción del costo de la máquina y la vida útil (Tabla 2).

	MIN	MEDIANA	MEDIA	MAX	Sd*	CV**
Leche producida	22.639	24.527	24.519	26.505	906,55	3,69
Venta leche/L	1.104	1.260	1.260	1.457	102,19	8,11
Venta ternero/L	1,91	108,02	108,94	248,25	60,47	55,51
Valor de semovientes/L	6.102	7.828	7.874	9.395	759,69	9,64
Valor de bienes /L	2.628	2.840	2.846	3.076	104,5	3,67
Valor de la tierra/L	51.443	63.559	65.194	83.063	8.318,63	12,75
Mano de obra/L	74,31	110,78	111,43	159,04	18,22	16,35
Costos de transporte/L	24,00	30,00	30,55	37,00	3,14	10,29
Costos de ensilaje/L	27,18	36,14	35,87	45,74	4,21	11,75
Costos de alimento balanceado no lactantes/L	94,88	147,39	148,04	198,70	22,23	62
Costos de alimento balanceado lactantes/L	232,40	316,60	317,60	418,90	45,88	14,44

Costos de fertilizantes/L	90,64	125,96	124,42	156,10	16,97	13,64
Costos de fumigación/L	26,51	32,64	33,38	42,94	4,23	12,68
Costo de sanidad/L	15,90	17,68	17,61	19,10	0,71	4,03
Costos de maquinaria/L	1,79	24,46	26,43	63,75	13,87	52,51
Inseminación artificial/L	4,67	6,47	6,50	8,30	0,77	11,87
Costo de mantenimiento/L	6,13	7,95	7,90	9,60	0,71	9,1

Tabla 2. Resumen estadístico de los parámetros de entrada.

*\*Sd= desviación estándar, \*\*CV= coeficiente de variación*

La leche producida, aunque no es una variable que necesariamente entra directo en el modelo, está implícita en todas las variables como el denominador de los índices. El comportamiento individual de esta variable nos muestra que ha habido un crecimiento en este parámetro en los últimos tres años (Anexo 3) y en el período del 2012 al 2017 presentó fluctuaciones decrecientes y crecientes. El valor de venta de la leche por litro producido fue tomado del precio pagado al productor en la subregión Norte de Antioquia. En los últimos 9 años es \$1.260 y muestra un aumento año a año en respuesta al aumento de insumos para la producción de leche y del IPC (índice de precios al consumidor). La variable venta de ternero por litro producido es la variable de mayor incertidumbre y menor control, el comportamiento de esta variable se ve afectado por el proceso de reproducción y crías, dado que, si en los partos nace una hembra no hay venta de ternero, sino que se procede al proceso de levante, ejemplo de esto se presentó en el 2019 donde los ingresos por venta de ternero fueron menores en comparación a los otros años analizados (Anexo 3).

El capital invertido está representado por las variables: valor de la tierra/L, valor de semovientes/L y valor de bienes /L. Para el valor de la tierra por litro producido, históricamente hay un crecimiento respecto al año anterior, esto se debe al incremento del valor comercial de los terrenos en la zona. Mientras que el valor de bienes por litros producidos ha mostrado un decrecimiento en los últimos 3 años. En valor de semovientes están incluidos todos los tipos de ganado presente en la finca, es decir, desde ganado joven, en etapa de producción y vacas secas, los valores oscilan en \$6.102/L y \$9.395/L.

En cuanto a las variables asociadas a los costos (Gráfico 14), encontramos que la mano de obra por litro producido y los costos de alimentación por litro producido (ensilaje, alimento balanceado de animales no lactantes, el alimento balanceado de animales lactantes, fertilizantes y fumigación) representan más del 60% de los costos. Los costos por inseminación artificial por litro producido son inferiores al 1% de los costos totales.

La mano de obra calificada con la que cuenta la finca como profesionales en zootecnia y veterinarios hace que este rubro sea mayor en comparación con fincas comúnmente encontradas en la zona, adicionalmente hay un incremento año a año debido al aumento del salario mínimo en el país. La alimentación por alimento balanceado para los lactantes es mayor que la de los no lactantes, debido a la dieta establecida en los controles lecheros, con el fin de incrementar la producción de leche de estas vacas.

Para el caso de las variables asociadas a la alimentación por pastoreo (costos de fertilizantes/L y costos de fumigación/L) están influenciadas por el tamaño de la finca y este se ha mantenido estable en los últimos años, sin embargo, su crecimiento se debe también al incremento de los precios de los fertilizantes y fungicidas en el mercado. Los costos de sanidad por litro producido son de los costos con menor variabilidad, es decir, históricamente se ha mantenido cerca de su valor promedio general, esto se debe a la planeación de vacunas,

desparasitaciones y controles médicos del hato y a las buenas prácticas de ordeño para disminuir enfermedades en ubres.

Las tarifas de transporte son controladas por las entidades gubernamentales y asociaciones lecheras, y son pagadas a los acopiadores de acuerdo con la distancia recorrida hasta los centros de acopio. En nuestro caso de estudio, durante los últimos 8 años, la tarifa de transporte osciló entre \$24 y \$37 por litro transportado, para el 2019 y 2020 aumentó respecto al año anterior, sin embargo, para años como el 2014, 2015, 2017 y 2018 disminuyó (Anexo 3).

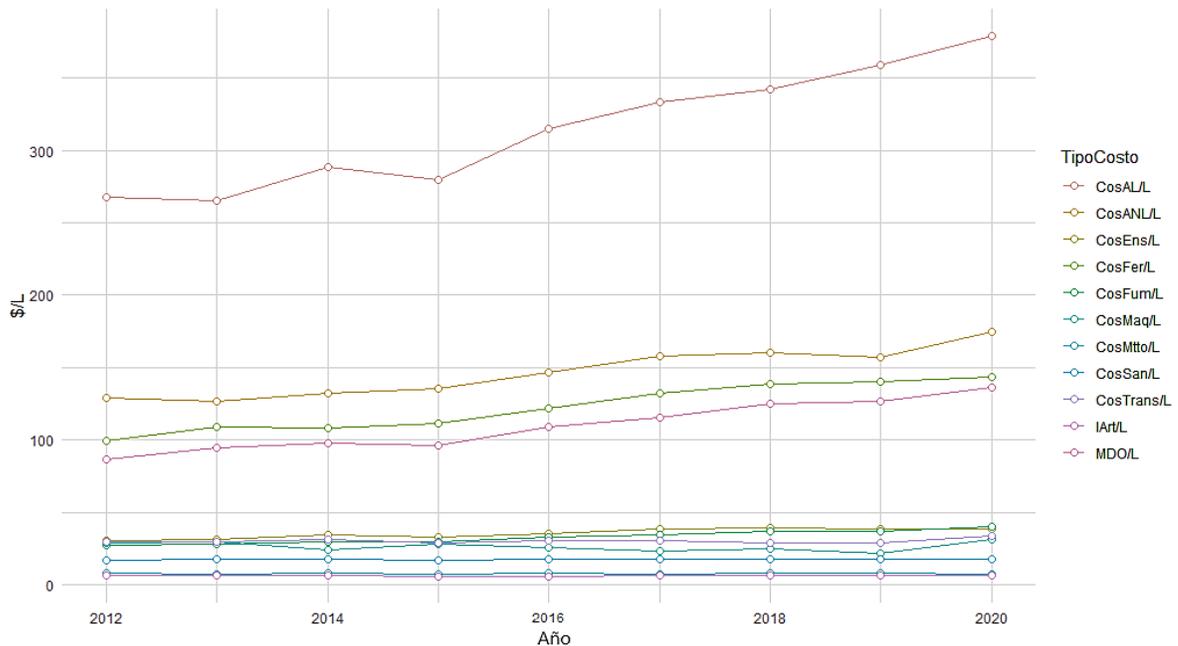


Gráfico 14. Evolución anual de los costos promedio mensuales.

*CosAL/L= costo de alimentación lactantes por litro producido, CosANL/L= costo de alimentación no lactantes por litro producido, CosEns/L= costos de ensilaje por litro producido, CosFer/L=costos de fertilizante por litro producido, CosFum/L= costos de fumigación por litro producido, CosMaq/L=costos de maquinaria por litro producido, CosMtto/L= costos de mantenimiento por litro producido, CosSan/L= costos de sanidad por litro producido, CosTrans/L= costos de transporte por litro producido, IArt/L= costos de inseminación artificial por litro producido, MDO/L= costos de mano de obra por litro producido.*

## 4.2.2. Indicadores de rentabilidad

- **Utilidad después de costos de alimentación por litro producido**

Los costos de alimentación representan más del 60% de los costos totales de la finca lechera. La utilidad resultante luego de descontar estos costos nos permite tener una idea del valor disponible por litro producido para cubrir los demás costos y obtener utilidades. El comportamiento general de los datos nos indica que la utilidad mensual después de costos de alimentación por litro producido en los últimos ocho años osciló entre \$517,4 y \$870,2, con una media de \$709,7. El Gráfico 15 y el Gráfico 16 nos muestran la evolución del indicador de utilidad después de costos de alimentación, se observa que desde el 2012 hasta el 2016 fue poco variable anualmente, mostrándonos un ligero crecimiento de 7% para el 2017, y manteniéndose en el 2018. Para 2019 se obtuvo el menor promedio mensual de los últimos años, debido a un decrecimiento en los ingresos para ese año. Sin embargo, en el 2020 se evidencia que, aun cuando aumentan los costos, el crecimiento de los ingresos fue superior, lo que generó un incremento en el indicador de utilidad. En este último año, se registró el promedio mensual más alto y la menor dispersión.

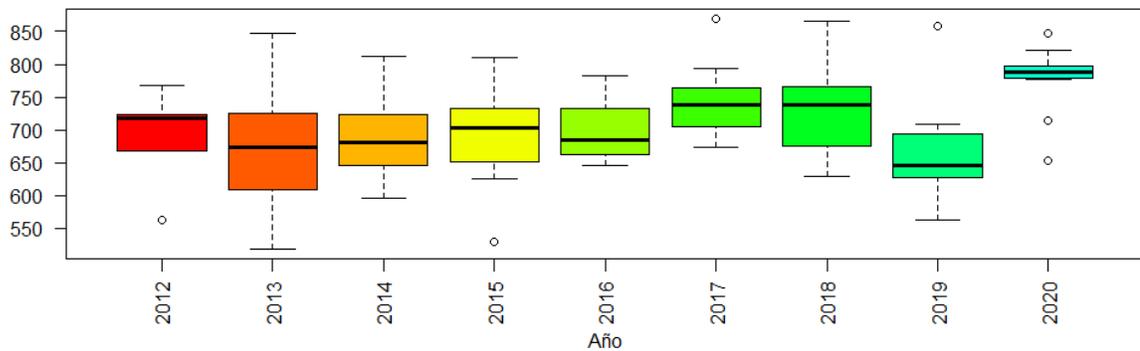


Gráfico 15. Evolución de la utilidad mensual después de costos de alimentación por litro producido año a año.

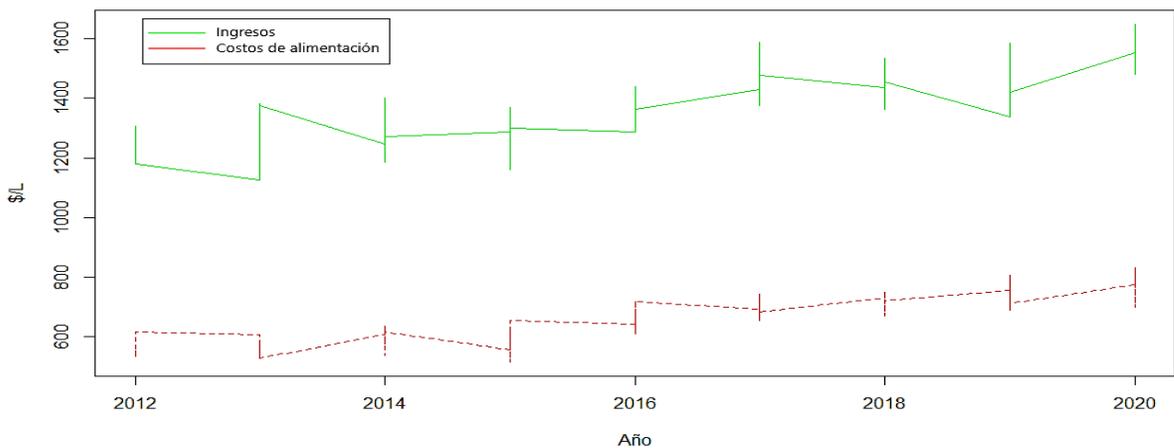


Gráfico 16. Evolución anual de Ingresos mensuales vs costos de alimentación mensual.

- **Margen bruto por litro producido:**

El margen bruto promedio mensual por litro producido de los ocho años analizados es de 37,72%/L, los valores oscilaron entre 25,06%/L y 49,05%/L. El Gráfico 17 y el Gráfico 18 nos indican la evolución del indicador de margen bruto por litro producido, observándose que desde el 2012 hasta el 2019 sostuvo una tendencia decreciente. No obstante, en el 2020 se evidencia un crecimiento frente al año inmediatamente anterior, esto se debe a que la proporción de crecimiento de los ingresos (9%), fue mayor que la de los costos (7%). En comparación a un informe situacional de la cadena láctea (UPRA & Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural 2020), el margen bruto por litro producido de la finca, está por debajo del promedio nacional (190%). Lo anterior indica que los altos costos incurridos en la finca en rubros como mano de obra y alimentación, disminuyen las posibilidades de ser competitivos en la región y país.

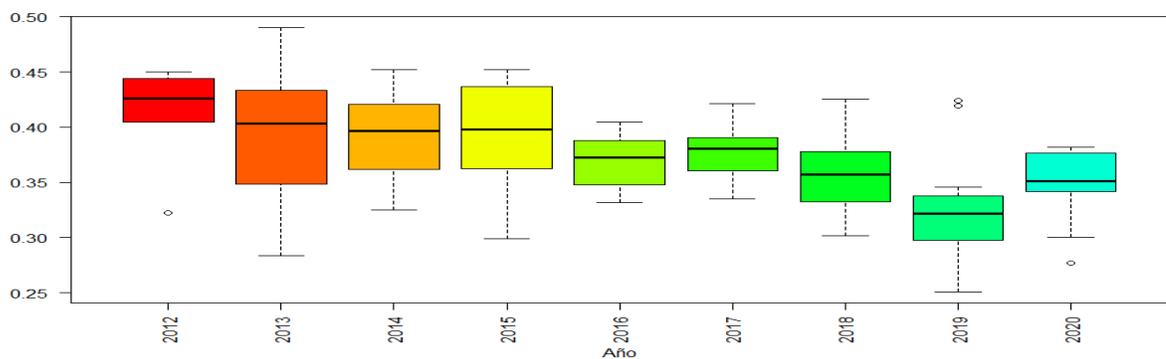


Gráfico 17. Evolución del margen bruto mensual por litro producido año a año.

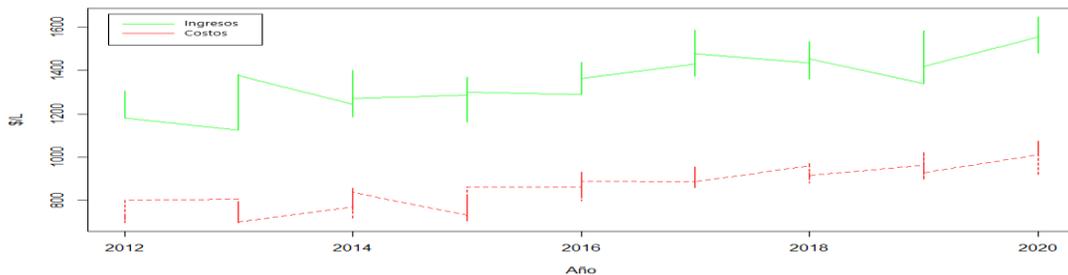


Gráfico 18. Evolución anual de Ingresos mensuales vs costos totales.

- **Tasa de rendimiento de capital por litro producido:**

La tasa de rendimiento de capital mensual promedio por litro producido entre el 2012 y el 2020 osciló entre 0,384%/L y 1,092%/L, con una media de 0,679%/L. Es decir, que durante los ocho años por cada \$100 invertidos en capital, la utilidad bruta que generó cada litro de leche fue menor a \$1 en promedio. Se observa entonces que la tasa de rendimiento en esta finca es muy baja, comparada con estudios brasileiros como el de Resende et al. (2010) donde evaluaron varios hatos lecheros y calcularon una tasa de rendimiento entre 4,7 % y 7,7%.

El Gráfico 19 ilustra la evolución del indicador, observándose que al igual que el margen bruto por litro producido, presentó una tendencia decreciente entre 2012 y 2019, solo hasta el 2020, presentó un aumento frente al año anterior. Dentro de los factores que están involucrados en este indicador tenemos la utilidad bruta y el capital invertido, entendiendo en este último, la

tierra, bienes y semovientes. Estas variables han sido poco alteradas en los últimos años, lo cual indica que los ingresos frente a los costos no han sido los suficientes para mejorar el indicador.

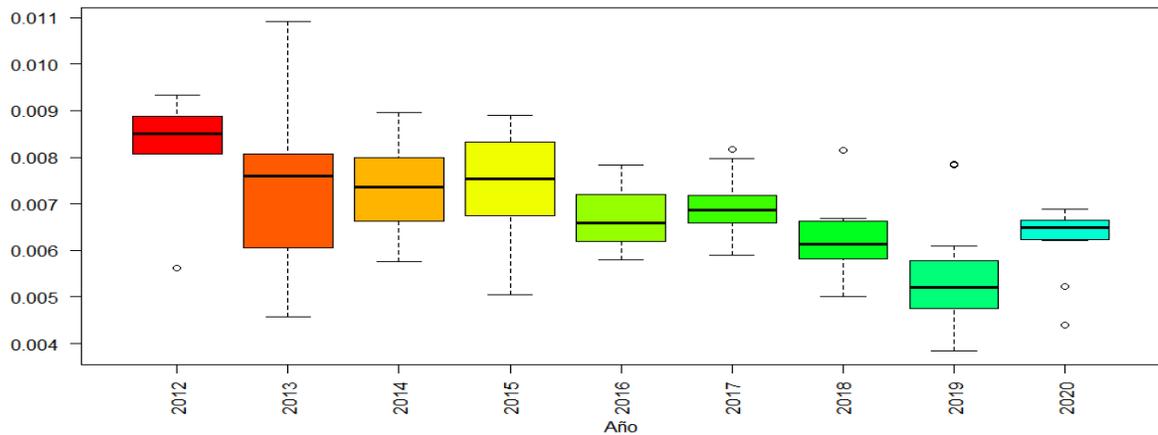


Gráfico 19. Evolución de la tasa de rendimiento mensual por litro producido año a año.

#### 4.2.3 Agrupamiento de parámetros de entrada según su relación con la variable respuesta

De acuerdo con la relación teórica de cada parámetro con los indicadores de rentabilidad, se establecieron las siguientes relaciones:

Parámetro de entrada	Variable respuesta		
	Utilidad bruta después de alimentación/L	Margen Bruto/L	Tasa de rendimiento de capital/L
Venta leche /L	Si	Si	Si
Venta de ternero/L	Si	Si	Si
Valor de los bienes/L			Si
Valor de la tierra/L			Si
Valor en semovientes/L			Si
Mano de obra contratada/L		Si	Si
Costo de Transporte/L		Si	Si
Costo de Ensilaje/L	Si	Si	Si
Costo alimento balanceado lactantes/L	Si	Si	Si
Costo alimento balanceado no lactantes/L	Si	Si	Si
Costo fertilizante/L	Si	Si	Si
Costos de fumigación/L	Si	Si	Si
Costos de sanidad/L		Si	Si
Costo de inseminación artificial/L		Si	Si
Costos de maquinaria/L		Si	Si
Costos de mantenimiento/L		Si	Si

Tabla 3. Agrupamientos entre parámetros de entrada y variables respuesta.

Para validar las relaciones teóricas que se mencionaron anteriormente, calculamos la correlación de Pearson con una escala entre -1 y 1, siendo la escala negativa (rojo) una relación inversa entre las variables y la escala positiva (azul) una relación directa.

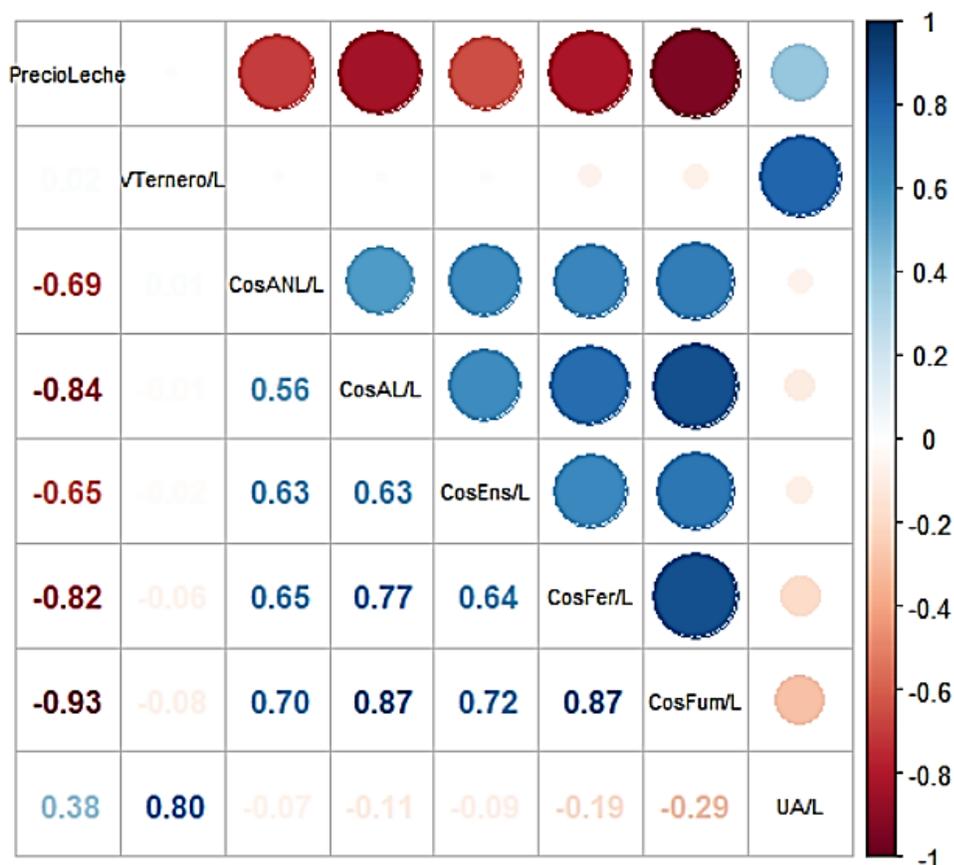


Gráfico 20. Matriz de correlación de Utilidad después de alimentación/L con parámetros de entrada.

\*VTernero/L= Venta de ternero por litro producido, VLeche/L=valor recibido por litro producido, CosAL/L= costo de alimentación lactantes por litro producido, CosANL/L= costo de alimentación no lactantes por litro producido, CosEns/L= costos de ensilaje por litro producido, CosFer/L=costos de fertilizante por litro producido, CosFum/L= costos de fumigación por litro producido y UA/L=utilidad después de alimentación por litro producido

Tal como se observa en el Gráfico 20, las variables *venta de ternero/L* y *Venta de leche/L* tienen correlación positiva con la variable respuesta *utilidad después de alimentación/L*, lo cual es coherente con la relación teórica que existe entre ellas. Es de resaltar que, en este caso, es mayor el nivel de correlación con la variable *venta de ternero/L* (0,8), que con el *precio del litro de leche* (0,38). Los costos tienen una relación negativa con la variable respuesta *utilidad después de alimentación/L*, como se esperaba. Es importante resaltar que la *venta de ternero/L* no presenta relación de efecto con los costos (correlación cercana a 0 o nula), mientras que la *venta de leche/L* presenta correlación negativa significativa (<-0.5) con los costos. Adicionalmente, podemos concluir que no existe multicolinealidad, ya que las variables predictoras no están altamente correlacionadas.

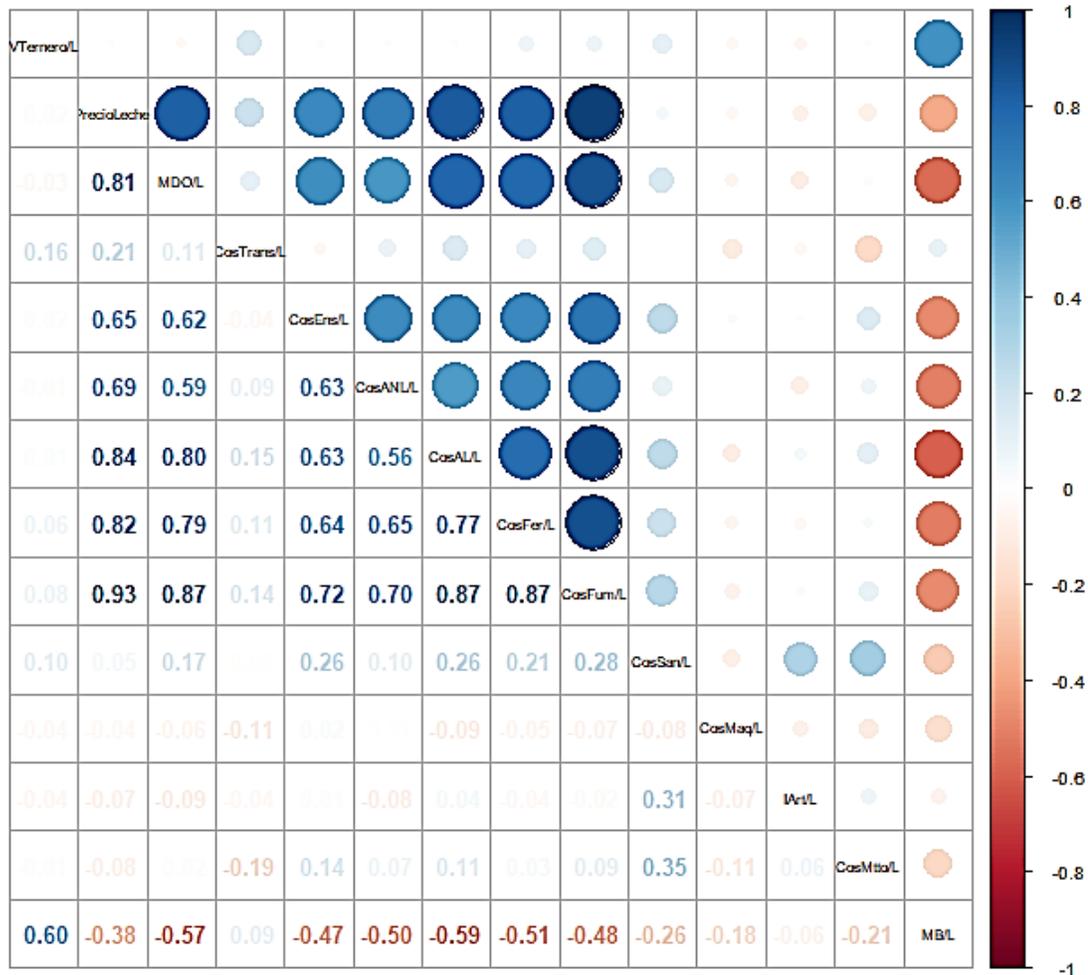


Gráfico 21. Matriz de correlación de margen bruto/L con parámetros de entrada.

\*VTernero/L= Venta de ternero por litro producido, VLeche/L=valor recibido por litro producido, CosAL/L= costo de alimentación lactantes por litro producido, CosANL/L= costo de alimentación no lactantes por litro producido, CosEns/L= costos de ensilaje por litro producido, CosFer/L=costos de fertilizante por litro producido, CosFum/L= costos de fumigación por litro producido, CosMaq/L=costos de maquinaria por litro producido, CosMto/L= costos de mantenimiento por litro producido, CosSan/L= costos de sanidad por litro producido, CosTrans/L= costos de transporte por litro producido, IArt/L= costos de inseminación artificial por litro producido, MDO/L= costos de mano de obra por litro producido, MB/L= margen bruto por litro producido.

Existe una correlación positiva entre la variable predictora *venta de ternero/L* y el indicador *margen bruto/L*, relación esperada, debido a que un aumento en las ventas de ternero aumentará los ingresos y, por lo tanto, el margen bruto (Gráfico 21).

Las variables asociadas a los costos tienen una correlación negativa con el indicador *margen bruto/L*, presentando una relación negativa superior a -0,47 con las variables *costo de ensilaje/L*, *costo de alimentación no lactantes/L*, *costo de alimentación lactantes /L*, *costos de fertilizante/L* y *costo de fumigación/L*. En menor medida existe una correlación negativa con los *costos de transporte/L*, *costos de sanidad/L*, *Costo de maquinaria/L*, *costos de inseminación artificial/L* y *costo de mantenimiento/L*. Esto se explica en el cálculo del margen bruto donde un aumento en cualquiera de los costos disminuirá el indicador.

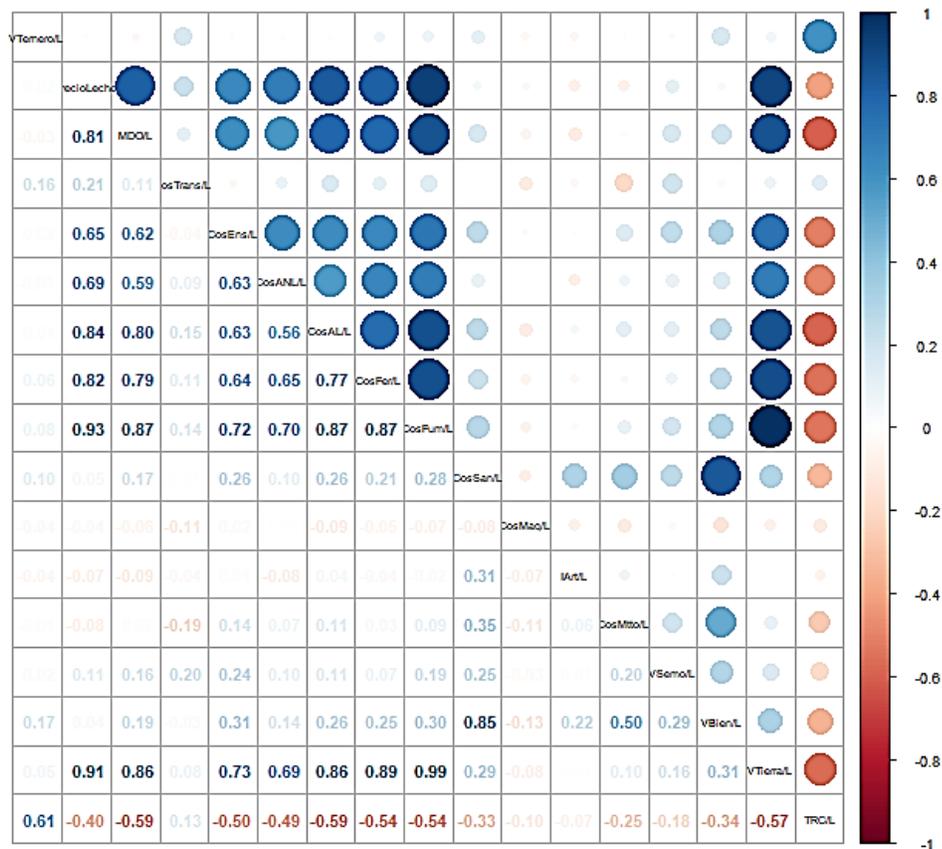


Gráfico 22. Matriz de correlación de tasa de rendimiento de capital/L con parámetros de entrada.

\*VTernero/L= Venta de ternero por litro producido, VLeche/L=valor recibido por litro producido, CosAL/L= costo de alimentación lactantes por litro producido, CosANL/L= costo de alimentación no lactantes por litro producido, CosEns/L= costos de ensilaje por litro producido, CosFer/L=costos de fertilizante por litro producido, CosFum/L= costos de fumigación por litro producido, CosMao/L=costos de maquinaria por litro producido, CosMto/L= costos de mantenimiento por litro producido, CosSan/L= costos de sanidad por litro producido, CosTrans/L= costos de transporte por litro producido, IArt/L= costos de inseminación artificial por litro producido, MDO/L= costos de mano de obra por litro producido, VSemo/L=valor de semovientes por litro producido, VBien /L= valor de bienes por litro producido, VTierra/L= valor de la tierra por litro producido, TRC/L= tasa de rendimiento de capital por litro producido.

El Gráfico 22 establece las correlaciones existentes entre las variables predictoras o parámetros de entrada con el indicador *tasa de rendimiento de capital /L*. El resultado es el esperado dado el cálculo, cualquier aumento en los ingresos aumentará la tasa de rendimiento sobre el capital, de ahí la correlación positiva con la *venta de ternero/L*. Por su parte, un aumento en los costos disminuye la utilidad bruta (ingresos- costos), lo que directamente impacta a la tasa de rendimiento de capital, por tanto, existe una correlación negativa. Por último, las variables asociadas al capital invertido (valor de semovientes por litro producido, valor de bienes por litro producido, valor de la tierra por litro producido) tienen una relación negativa con el indicador. Esto se debe a que un aumento de capital en mayor proporción en comparación a la proporción de crecimiento de la utilidad bruta disminuye la tasa de rendimiento de capital.

### 4.3 Modelo de gestión de la rentabilidad

Con el fin de conocer cuáles son las determinantes de rentabilidad, aplicamos las metodologías de análisis de componentes principales, regresión lineal múltiple y regresión lineal múltiple aplicada a análisis de componentes principales. Esto permitió determinar y analizar las relaciones causa efecto entre los parámetros de entrada e indicadores de rentabilidad. A partir del conocimiento de estas relaciones, establecemos las determinantes de rentabilidad, lineamientos de acción, recomendaciones para soportar la toma de decisiones encaminadas a mejorar la rentabilidad en la finca lechera.

#### 4.3.1 Análisis de componentes principales

- **Modelo 1: Utilidad después de costos de alimentación por litro producido**

El análisis de componentes principales lo ejecutamos con los siguientes parámetros de entrada: *venta de ternero/L*, *venta de leche/L*, *costo de ensilaje/L*, *costo de alimentación no lactantes/L*, *costo de alimentación lactante/L*, *costo de fertilizante/L* y *costo de fumigación/L*. La correlación lineal entre estas variables estaba por debajo de 0,93, mostrando una alta correlación, pero no multicolinealidad exacta entre ellas (Gráfico 21). El componente principal 1 (CP1) explica el 67,63% de los efectos de los parámetros de entrada y obtuvo un valor propio de 4,73, por tanto, fue pertinente agregar un segundo componente adicional para tener al menos el 75% de la varianza explicada. Al agregar el componente principal 2 (CP2), en conjunto con el componente principal 1 explican el 81,96 % de la varianza (Tabla 4).

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7
Valor propio.	4,73	1,00	0,47	0,39	0,20	0,16	0,05
% de varianza.	67,63	14,33	6,76	5,51	2,88	2,21	0,68
% de varianza acumulada.	67,63	81,97	88,73	94,24	97,12	99,32	100,00

Tabla 4. Varianza explicada de componentes principales de utilidad después de alimentación/L.

Analizando el comportamiento individual de cada parámetro de entrada en los componentes principales seleccionados, encontramos que el componente principal número 1 está asociado a los costos de alimentación, específicamente a la alimentación por pastoreo (costo de fumigación y fertilizantes), es decir, que en la utilidad después de costos de alimentación la variable con mayor incidencia o explicación de su comportamiento es el costo de alimentación, esto a causa de que los costos de alimentación representan en promedio el 60% de los costos totales. Por tanto, generar un plan de control de costos en la alimentación debería garantizar aumentar la utilidad de la finca. Por otra parte, la *venta de ternero/L* es la variable con mayor contribución en el segundo componente, lo que nos indica que este componente está asociado a los ingresos por la operación lechera o venta de terneros de la finca y que esta estrategia de diversificación de la producción funciona muy bien como estrategia para aumentar la rentabilidad en fincas lecheras (Tabla 5).

	Variables	PC1	PC2	Suma
1	Venta de leche/L	18,56	0,03	18,59

2	Venta de ternero/L	0,16	98,71	98,87
3	Costo de alimentación no lactantes/L	14,62	0,04	14,66
4	Costo de alimentación lactantes/L	16,07	0,05	16,12
5	Costo de ensilaje/L	13,39	0,00	13,39
6	Costo de fertilizante/L	17,42	0,82	18,24
7	Costo de fumigación/L	19,77	0,36	20,13

Tabla 5. Matriz de contribuciones a los componentes principales de utilidad después de alimentación/L.

Los componentes principales se calculan de la siguiente manera:

$$CP1 = \lambda_{11}X_1 + \lambda_{21}X_2 + \lambda_{31}X_3 + \lambda_{41}X_4 + \lambda_{51}X_5 + \lambda_{61}X_6 + \lambda_{71}X_7$$

$$CP2 = \lambda_{12}X_1 + \lambda_{22}X_2 + \lambda_{32}X_3 + \lambda_{42}X_4 + \lambda_{52}X_5 + \lambda_{62}X_6 + \lambda_{72}X_7$$

Y teniendo en cuenta la matriz de contribuciones, los componentes están dados por:

$$CP1 = 18,56 VLeche/L + 0,16 VTernero/L + 14,62 CosANL/L + 16,07 CosAL/L + 13,39 CosEns/L + 17,42 CosFer/L + 19,77 CosFum/L$$

$$CP2 = 0,03 VLeche/L + 98,71 VTernero/L + 0,04 CosANL/L + 0,05 CosAL/L + 0,0004 CosEns/L + 0,82 CosFer/L + 0,36 CosFum/L$$

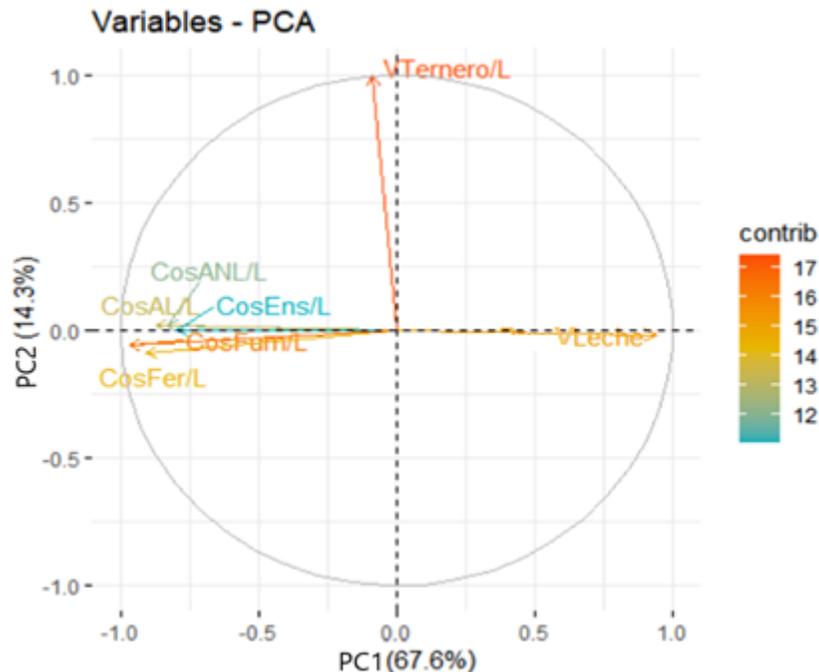


Gráfico 23. Vectores de los componentes principales de utilidad después de alimentación/L.

\* VLeche/L=valor recibido por litro producido, VTernero/L= Venta de ternero por litro producido, CosAL/L= costo de alimentación lactantes por litro producido, CosANL/L= costo de alimentación no lactantes por litro producido,

*CosEns/L= costos de ensilaje por litro producido, CosFer/L=costos de fertilizante por litro producido, CosFum/L= costos de fumigación por litro producido, CosMaq/L=costos de maquinaria por litro producido.*

En el eje X del Gráfico 23 está representado el componente principal 1, para el cual el parámetro de entrada *venta de ternero/L* es el más alejado del eje, lo que se interpreta como la menor contribución al componente, mientras que, *costo de fumigación/L* y *venta de leche/L* están cercanos al eje X interpretándose como los de mayor contribución. Para el componente principal 2, representado en el eje Y, tenemos el comportamiento contrario al componente principal 1, *venta de ternero/L* está más cerca al eje Y, siendo el de mayor contribución, mientras que los demás parámetros de entrada están alejados del eje, teniendo un aporte bastante menor. En términos generales, se puede afirmar que cualquier aumento en el parámetro de entrada de *venta de ternero/L* significará un incremento significativo en la utilidad después de los costos por alimentación, mientras que controlar y disminuir los costos de alimentación especialmente *costos de fumigación/L*, *costos de fertilizantes/L* y *costos de alimento balanceado lactantes/L* mejoraría la utilidad después de los costos por alimentación, sin desmejorar las condiciones de alimentación (Tabla 5).

- **Modelo 2: Margen bruto por litro producido**

El análisis de componentes principales para el indicador de margen bruto por litro de leche producido lo ejecutamos con los siguientes parámetros de entrada: *venta de ternero/L*, *venta de leche/L*, *mano de obra/L*, *costo de transporte/L*, *costos de ensilaje/L*, *costos de alimentación no lactantes/L*, *costo de alimentación lactante/L*, *costo de fertilizante/L*, *costo de fumigación/L*, *costos de sanidad/L*, *costo de maquinaria/L*, *costos de inseminación artificial/L* y *costos de mantenimiento/L*. La correlación lineal entre estas variables estaba por debajo de 0,93, mostrando una alta correlación, pero no multicolinealidad exacta entre ellas. Para tener una varianza explicada de los datos de al menos 75% se seleccionaron 5 componentes principales, alcanzado el 80,57% de la varianza (Tabla 6).

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7
Valor propio	5,60	1,68	1,31	0,98	0,89	0,68	0,54
% de varianza	43,09	12,92	10,10	7,55	6,88	5,27	4,22
% de varianza acumulada	43,09	56,02	66,13	73,68	80,57	85,85	90,07
	CP8	CP9	CP10	CP11	CP12	CP13	
Valor propio	0,45	0,33	0,20	0,16	0,10	0,02	
% de varianza	3,48	2,55	1,59	1,26	0,83	0,19	
% de varianza acumulada	93,55	96,11	97,71	98,97	99,80	100	

Tabla 6. Varianza explicada de componentes principales de margen bruto/L.

En análisis a priori, se afirmaría que la venta de leche por litro producido es la variable con mayor impacto sobre la rentabilidad del sector lechero, sin embargo, fue una de las variables menos determinantes para el indicador de rentabilidad margen bruto por litro producido de acuerdo con los resultados del análisis aquí presentado (Tabla 7).

Para el componente principal 1 (CP1) las variables con mayor contribución son *costo de alimento balanceado lactante/L*, *costo de fertilizante/L* y *costo de fumigación/L*, las cuales hacen

parte de las variables asociadas a la alimentación. Además, *costos de ensilaje/L* y *costos de alimento balanceado no lactantes/L*, a pesar de no ser las de mayor determinación, tiene un aporte significativo al componente, lo cual nos podría indicar que esta primera dimensión está determinada por los costos de alimentación. Analizando de manera similar los demás componentes podemos observar que el componente principal 2 (CP2) está dado por los *costos de sanidad/L*, *costos de inseminación artificial/L*, y *costos de mantenimiento/L*. El componente principal 3 (CP3) está determinado por la variable *venta de ternero/L*, seguido del *costo de transporte/L*, mientras que para el componente principal 4 (CP4) la variable *costo de maquinaria/L* es la de mayor impacto con diferencia significativa en comparación a las demás variables. Para el último componente repiten *costos de inseminación artificial/L*, *venta de ternero/L* y *costo de transporte/L* como las variables con mayor participación.

En términos generales, se puede afirmar que *venta de ternero/L* es la variable que representa o afecta en mayor proporción el margen bruto por litro producido, por lo cual el adecuado manejo reproductivo del ganado aumenta la producción de leche y permite generar ingresos adicionales por venta de terneros que son diferenciales para la generación de utilidad en la operación.

	Variables	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	suma
1	Venta de ternero/L	0,17	0,46	34,43	19,51	23,8	78,37
2	Venta de leche/L	15,22	3,49	0,30	0,39	0,5	19,91
3	Mano de obra/L	13,38	0,45	0,20	0,29	0,65	14,97
4	Costo de transporte/L	0,45	10,28	27,04	3,96	21,36	63,09
5	Costos de ensilaje/L	10,94	0,36	3,64	0,34	1,16	16,43
6	Costos de alimento balanceado no lactantes/L	10,49	0,30	3,17	0,04	2,51	16,50
7	Costo de alimentación lactante/L	14,65	0,16	0,01	0	1,73	16,55
8	Costo de fertilizante/L	14,54	0,42	0,17	0,5	0,27	15,91
9	Costo de fumigación/L	17,03	0	0,03	0,04	0	17,10
10	Costos de sanidad/L	2,06	29,33	5,74	5,01	0,35	42,48
11	Costo de maquinaria/L	0,31	2,35	20,73	44,73	7,61	75,74
12	Costos de inseminación artificial/L	0	23,09	2,61	18,21	26,54	70,45
13	costos de mantenimiento/L	0,75	29,30	1,94	6,97	13,53	52,49

Tabla 7. Matriz de contribuciones a los componentes principales de margen bruto/L.

Los componentes se calculan de la siguiente manera:

$$CP1 = \lambda_{11}X_1 + \lambda_{21}X_2 + \lambda_{31}X_3 + \lambda_{41}X_4 + \lambda_{51}X_5 + \lambda_{61}X_6 + \lambda_{71}X_7 + \lambda_{81}X_8 + \lambda_{91}X_9 + \lambda_{101}X_{10} + \lambda_{111}X_{11} + \lambda_{121}X_{12} + \lambda_{131}X_{13}$$

$$CP2 = \lambda_{12}X_1 + \lambda_{22}X_2 + \lambda_{32}X_3 + \lambda_{42}X_4 + \lambda_{52}X_5 + \lambda_{62}X_6 + \lambda_{72}X_7 + \lambda_{82}X_8 + \lambda_{92}X_9 + \lambda_{102}X_{10} + \lambda_{112}X_{11} + \lambda_{122}X_{12} + \lambda_{132}X_{13}$$

$$CP3 = \lambda_{13}X_1 + \lambda_{23}X_2 + \lambda_{33}X_3 + \lambda_{43}X_4 + \lambda_{53}X_5 + \lambda_{63}X_6 + \lambda_{73}X_7 + \lambda_{83}X_8 + \lambda_{93}X_9 + \lambda_{103}X_{10} + \lambda_{113}X_{11} + \lambda_{123}X_{12} + \lambda_{133}X_{13}$$

$$CP4 = \lambda_{14}X_1 + \lambda_{24}X_2 + \lambda_{34}X_3 + \lambda_{44}X_4 + \lambda_{54}X_5 + \lambda_{64}X_6 + \lambda_{74}X_7 + \lambda_{84}X_8 + \lambda_{94}X_9 + \lambda_{104}X_{10} + \lambda_{114}X_{11} + \lambda_{124}X_{12} + \lambda_{134}X_{13}$$

$$CP5 = \lambda_{15}X_1 + \lambda_{25}X_2 + \lambda_{35}X_3 + \lambda_{45}X_4 + \lambda_{55}X_5 + \lambda_{65}X_6 + \lambda_{75}X_7 + \lambda_{85}X_8 + \lambda_{95}X_9 + \lambda_{105}X_{10} + \lambda_{115}X_{11} + \lambda_{125}X_{12} + \lambda_{135}X_{13}$$

Teniendo en cuenta la matriz de contribuciones, los componentes están dados por:

$$\begin{aligned}
CP1 &= 0,17 VTernero/L + 15,22 VLeche/L + 13,38 MDO/L + 0,45 CosTrans/L \\
&\quad + 10,94 CosEns/L + 10,49 CosANL/L + 14,65 CosAL/L + 14,54 CosFer/L \\
&\quad + 17,03 CosFum/L + 2,06 CosSan/L + 0,31 CosMaq/L + 0,0044 IArt/L \\
&\quad + 0,75 CosMtto/L \\
CP2 &= 0,46 VTernero/L + 3,49 VLeche/L + 0,45 MDO/L + 10,28 CosTrans/L + 0,36 CosEns/L \\
&\quad + 0,30 CosANL/L + 0,16 CosAL/L + 0,42 CosFer/L + 0,00029 CosFum/L \\
&\quad + 29,33 CosSan/L + 2,35 CosMaq/L + 23,09 IArt/L + 29,30 CosMtto/L \\
CP3 &= 34,43 VTernero/L + 0,30 VLeche/L + 0,20 MDO/L + 27,04 CosTrans/L \\
&\quad + 3,64 CosEns/L + 3,17 CosANL/L + 0,01 CosAL/L + 0,17 CosFer/L \\
&\quad + 0,03 CosFum/L + 5,74 CosSan/L + 20,73 CosMaq/L + 2,61 IArt/L \\
&\quad + 1,94 CosMtto/L \\
CP4 &= 19,51 VTernero/L + 0,39 VLeche/L + 0,29 MDO/L + 3,96 CosTrans/L + 0,34 CosEns/L \\
&\quad + 0,04 CosANL/L + 0,001 CosAL/L + 0,50 CosFer/L + 0,04 CosFum/L \\
&\quad + 5,01 CosSan/L + 44,73 CosMaq/L + 18,21 IArt/L + 6,97 CosMtto/L \\
CP5 &= 23,80 VTernero/L + 0,50 VLeche/L + 0,65 MDO/L + 21,36 CosTrans/L \\
&\quad + 1,16 CosEns/L + 2,51 CosANL/L + 1,73 CosAL/L + 0,27 CosFer/L \\
&\quad + 0 CosFum/L + 0,35 CosSan/L + 7,61 CosMaq/L + 26,54 IArt/L \\
&\quad + 13,53 CosMtto/L
\end{aligned}$$

\*VTernero/L= Venta de ternero por litro producido, VLeche/L=valor recibido por litro producido, CosAL/L= costo de alimentación lactantes por litro producido, CosANL/L= costo de alimentación no lactantes por litro producido, CosEns/L= costos de ensilaje por litro producido, CosFer/L=costos de fertilizante por litro producido, CosFum/L= costos de fumigación por litro producido, CosMaq/L=costos de maquinaria por litro producido, CosMtto/L= costos de mantenimiento por litro producido, CosSan/L= costos de sanidad por litro producido, CosTrans/L= costos de transporte por litro producido, IArt/L= costos de inseminación artificial por litro producido, MDO/L= costos de mano de obra por litro producido.

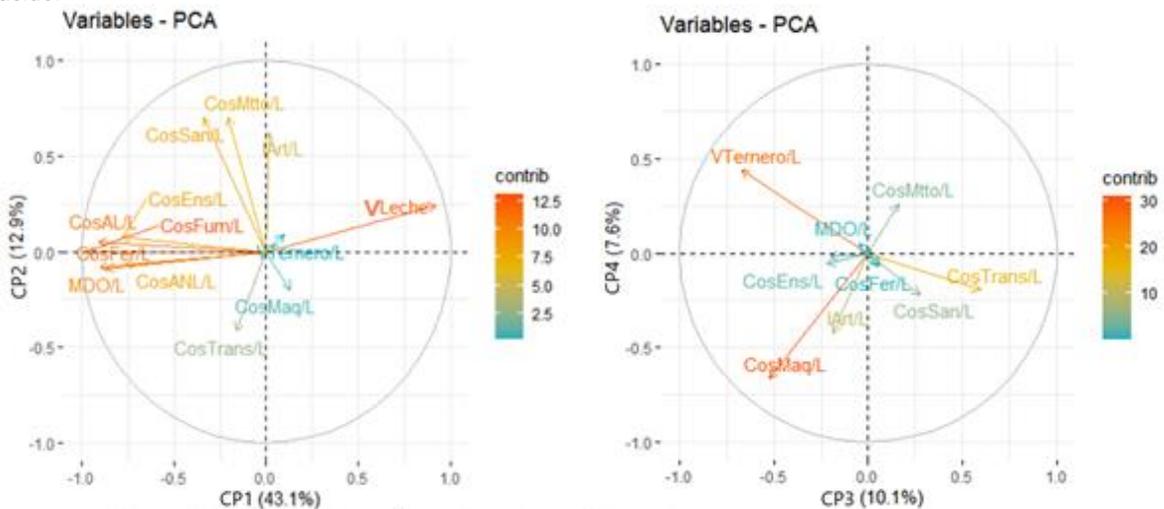


Gráfico 24. Vectores de los componentes principales de margen bruto/L.

En el eje de la X del gráfico de la izquierda está representado el componente principal 1 (CP1) (Gráfico 24), para el cual el parámetro de entrada *costos de inseminación artificial/L* está perpendicular al eje, siendo el más alejado del eje, lo que se interpreta como la menor contribución. Para el componente principal 2 representado en el eje Y del gráfico de la izquierda, *costos de inseminación artificial/L*, *costos de mantenimiento/L* y *costos de sanidad/L* está más cercano al eje, siendo las de mayor contribución. Para el gráfico de la derecha se compara el componente 3 y 4 podemos observar que *venta de ternero/L* y *costo de maquinaria/L* son las de mayor contribución, dado su color naranja intenso, mientras que *costos de mantenimiento/L* y

*costos de ensilaje/L* los de menor contribución. En términos generales, *venta de ternero/L* tiene el mayor aporte a los componentes. Sin embargo, las contribuciones de los parámetros *costos de inseminación artificial/L* y *costo de maquinaria/L* son significativas, lo que nos indica que estos deben ser controlados para evitar su incremento, ya que representará una disminución del *margen bruto/L*.

- **Modelo 3: Tasa de rendimiento de capital por litro producido**

El análisis de componentes principales para este el indicador tasa de rendimiento de capital por litro producido lo ejecutamos con los siguientes parámetros de entrada: *venta de ternero/L*, *venta de leche/L*, *mano de obra/L*, *costo de transporte/L*, *costos de ensilaje/L*, *costos de alimentación no lactantes/L*, *costo de alimentación lactante/L*, *costo de fertilizante/L*, *costo de fumigación/L*, *costos de sanidad/L*, *costo de maquinaria/L*, *costos de inseminación artificial/L*, *costos de mantenimiento/L*, *valor de semovientes/L*, *valor de bienes/L* y *valor de la tierra/L*. El componente principal 1 (CP1) obtuvo un valor propio de 6,56 y explicó el 41,02% de la varianza de las variables originales. Para tener una varianza explicada de los datos de al menos 75% se seleccionaron 5 componentes principales (Tabla 8).

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8
Valor propio	6,56	2,52	1,37	1,08	1,00	0,77	0,67	0,54
% de varianza	41,02	15,77	8,58	6,76	6,28	4,81	4,21	3,43
% de varianza acumulada	41,02	56,80	65,38	72,15	78,43	83,24	87,46	90,89
	CP9	CP10	CP11	CP12	CP13	CP14	CP15	CP16
Valor propio	0,51	0,27	0,23	0,19	0,11	0,09	0,03	0,005
% de varianza	3,20	1,70	1,48	1,18	0,69	0,57	0,22	0,03
% de varianza acumulada	94,09	95,80	97,28	98,47	99,17	99,74	99,96	100

Tabla 8. Varianza explicada de componentes principales de tasa de rendimiento de capital/L.

Para el componente principal 1 (CP1) las variables con mayor contribución son *costo de fumigación/L*, *valor de la tierra/L* y *venta de leche/L*, las cuales hacen parte de los costos, capital e ingresos respectivamente. Además, *costos de ensilaje/L*, *costo de alimentación lactante/L* y *costo de fertilizante/L*, a pesar de no ser las de mayor determinación, tiene un aporte significativo al componente, lo cual nos podría indicar que esta primera dimensión está determinada por los costos. El componente principal 2 (CP2) está dado por los *costos de sanidad/L* y *valor de bienes/L* con diferencias significativas con las demás variables. En este componente también encontramos variables con una contribución casi que nula como son *costos de ensilaje/L* y *costos de alimento balanceado no lactantes/L*. El componente principal 3 (CP3) está determinado principalmente por la variable *costo de transporte/L*, seguido de *venta de ternero/L*. Para el componente principal 4 (CP4), la variable *costos de inseminación artificial/L* es la de mayor impacto, con diferencia significativa en comparación a las demás variables. Para el último componente, *costo de maquinaria/L* es la variable con una contribución significativamente mayor en comparación con las demás (Tabla 9).

	Variables	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	Suma
1	Venta de ternero/L	0,01	1,40	29,84	10,96	15,49	57,72
2	Venta de leche/L	12,23	4,73	0,01	0,24	0,27	17,5

3	Mano de obra/L	11,6	0,55	0,002	0,34	0,51	13,02
4	Costo de transporte/L	0,06	1,01	39,3	14,15	1,60	56,13
5	Costos de ensilaje/L	9,81	0,003	1,20	0,07	2,03	13,12
6	Costos de alimentación no lactantes/L	8,15	1,99	0,43	1,27	4,08	15,94
7	Costo de alimentación lactante/L	12,01	0,04	0,01	0,73	2,17	14,99
8	Costo de fertilizante/L	11,8	0,39	0,04	1,15	0,09	13,48
9	Costo de fumigación/L	14,59	0,20	0,1	0,03	0,07	15,02
10	Costos de sanidad/L	1,68	28,08	0,006	0,004	0,27	30,05
11	Costo de maquinaria/L	0,08	1,78	7,57	5,80	66,22	81,46
12	Costos de inseminación artificial/L	0,009	6,27	10,17	30,94	2,24	49,65
13	Costos de mantenimiento/L	0,28	17,84	2,84	7,59	0,47	29,03
14	Valor de semovientes/L	0,70	7,43	7,99	25,44	3,54	45,12
15	Valor de bienes/L	2,35	28,07	0,41	1,10	0,66	32,61
16	Valor de la tierra/L	14,57	0,15	0,01	0,12	0,19	15,07

Tabla 9. Matriz de contribuciones a los componentes principales de tasa de rendimiento de capital/L.

Los componentes se calculan de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 CP1 &= \lambda_{11}X_1 + \lambda_{21}X_2 + \lambda_{31}X_3 + \lambda_{41}X_4 + \lambda_{51}X_5 + \lambda_{61}X_6 + \lambda_{71}X_7 + \lambda_{81}X_8 + \lambda_{91}X_9 + \lambda_{101}X_{10} \\
 &\quad + \lambda_{111}X_{11} + \lambda_{121}X_{12} + \lambda_{131}X_{13} + \lambda_{141}X_{14} + \lambda_{151}X_{15} + \lambda_{161}X_{16} \\
 CP2 &= \lambda_{12}X_1 + \lambda_{22}X_2 + \lambda_{32}X_3 + \lambda_{42}X_4 + \lambda_{52}X_5 + \lambda_{62}X_6 + \lambda_{72}X_7 + \lambda_{82}X_8 + \lambda_{92}X_9 + \lambda_{102}X_{10} \\
 &\quad + \lambda_{112}X_{11} + \lambda_{122}X_{12} + \lambda_{132}X_{13} + \lambda_{142}X_{14} + \lambda_{152}X_{15} + \lambda_{162}X_{16} \\
 CP3 &= \lambda_{13}X_1 + \lambda_{23}X_2 + \lambda_{33}X_3 + \lambda_{43}X_4 + \lambda_{53}X_5 + \lambda_{63}X_6 + \lambda_{73}X_7 + \lambda_{83}X_8 + \lambda_{93}X_9 + \lambda_{103}X_{10} \\
 &\quad + \lambda_{113}X_{11} + \lambda_{123}X_{12} + \lambda_{133}X_{13} + \lambda_{143}X_{14} + \lambda_{153}X_{15} + \lambda_{163}X_{16} \\
 CP4 &= \lambda_{14}X_1 + \lambda_{24}X_2 + \lambda_{34}X_3 + \lambda_{44}X_4 + \lambda_{54}X_5 + \lambda_{64}X_6 + \lambda_{74}X_7 + \lambda_{84}X_8 + \lambda_{94}X_9 + \lambda_{104}X_{10} \\
 &\quad + \lambda_{114}X_{11} + \lambda_{124}X_{12} + \lambda_{134}X_{13} + \lambda_{144}X_{14} + \lambda_{154}X_{15} + \lambda_{164}X_{16} \\
 CP5 &= \lambda_{15}X_1 + \lambda_{25}X_2 + \lambda_{35}X_3 + \lambda_{45}X_4 + \lambda_{55}X_5 + \lambda_{65}X_6 + \lambda_{75}X_7 + \lambda_{85}X_8 + \lambda_{95}X_9 + \lambda_{105}X_{10} \\
 &\quad + \lambda_{115}X_{11} + \lambda_{125}X_{12} + \lambda_{135}X_{13} + \lambda_{145}X_{14} + \lambda_{155}X_{15} + \lambda_{165}X_{16}
 \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta la matriz de contribuciones, los componentes están dados por:

$$\begin{aligned}
 CP1 &= 0,01 V\text{Ternero}/L + 12,23 V\text{Leche}/L + 11,60 MDO/L + 0,06 \text{CosTrans}/L \\
 &\quad + 9,81 \text{CosEns}/L + 8,15 \text{CosANL}/L + 12,01 \text{CosAL}/L + 11,80 \text{CosFer}/L \\
 &\quad + 14,59 \text{CosFum}/L + 1,68 \text{CosSan}/L + 0,08 \text{CosMaq}/L + 0,009 I\text{Art}/L \\
 &\quad + 0,28 \text{CosMtto}/L + 0,70 V\text{Semo}/L + 2,35 V\text{Bien}/L + 14,57 V\text{Tierra}/L \\
 CP2 &= 1,40 V\text{Ternero}/L + 4,73 V\text{Leche}/L + 0,55 MDO/L + 1,01 \text{CosTrans}/L + 0,003 \text{CosEns}/L \\
 &\quad + 1,99 \text{CosANL}/L + 0,04 \text{CosAL}/L + 0,39 \text{CosFer}/L + 0,20 \text{CosFumigacion}/L \\
 &\quad + 28,08 \text{CosSan}/L + 1,78 \text{CosMaq}/L + 6,27 I\text{Art}/L + 17,84 \text{CosMtto}/L \\
 &\quad + 7,43 V\text{Semo}/L + 28,07 V\text{Bien}/L + 0,15 V\text{Tierra}/L \\
 CP3 &= 29,84 V\text{Ternero}/L + 0,01 V\text{Leche}/L + 0,002 MDO/L + 39,30 \text{CosTrans}/L \\
 &\quad + 1,20 \text{CosEns}/L + 0,43 \text{CosANL}/L + 0,01 \text{CosAL}/L + 0,04 \text{CosFer}/L \\
 &\quad + 0,10 \text{CosFum}/L + 0,006 \text{CosSan}/L + 7,57 \text{CosMaq}/L + 10,17 I\text{Art}/L \\
 &\quad + 2,84 \text{CosMtto}/L + 7,99 V\text{Semo}/L + 0,41 V\text{Bien}/L + 0,01 V\text{Tierra}/L
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CP4 &= 10,96 V\text{Ternero}/L + 0,24 V\text{Leche}/L + 0,34 MDO/L + 14,15 \text{CosTrans}/L \\
 &\quad + 0,07 \text{CosEns}/L + 1,27 \text{CosANL}/L + 0,73 \text{CosAL}/L + 1,15 \text{CosFer}/L \\
 &\quad + 0,03 \text{CosFum}/L + 0,004 \text{CosSan}/L + 5,80 \text{CosMaq}/L + 30,94 I\text{Art}/L \\
 &\quad + 7,59 \text{CosMtto}/L + 25,44 V\text{Semo}/L + 1,10 V\text{Bien}/L + 0,12 V\text{Tierra}/L \\
 CP5 &= 15,49 V\text{Ternero}/L + 0,27 V\text{Leche}/L + 0,51 MDO/L + 1,60 \text{CosTrans}/L + 2,03 \text{CosEns}/L \\
 &\quad + 4,08 \text{CosANL}/L + 2,17 \text{CosAL}/L + 0,09 \text{CosFer}/L + 0,07 \text{CosFum}/L \\
 &\quad + 0,27 \text{CosSan}/L + 66,22 \text{CosMaq}/L + 2,24 I\text{Art}/L + 0,47 \text{CosMtto}/L \\
 &\quad + 3,54 V\text{Semo}/L + 0,66 V\text{Bien}/L + 0,19 V\text{Tierra}/L
 \end{aligned}$$

\*VTernero/L= Venta de ternero por litro producido, VLeche/L=valor recibido por litro producido, CosAL/L= costo de alimentación lactantes por litro producido, CosANL/L= costo de alimentación no lactantes por litro producido, CosEns/L= costos de ensilaje por litro producido, CosFer/L=costos de fertilizante por litro producido, CosFum/L= costos de fumigación por litro producido, CosMaq/L=costos de maquinaria por litro producido, CosMtto/L= costos de mantenimiento por litro producido, CosSan/L= costos de sanidad por litro producido, CosTrans/L= costos de transporte por litro producido, IArt/L= costos de inseminación artificial por litro producido, MDO/L= costos de mano de obra por litro producido, VSemo/L=valor de semovientes por litro producido, VBien /L= valor de bienes por litro producido, VTierra/L= valor de la tierra por litro producido, TRC/L= tasa de rendimiento de capital por litro producido.

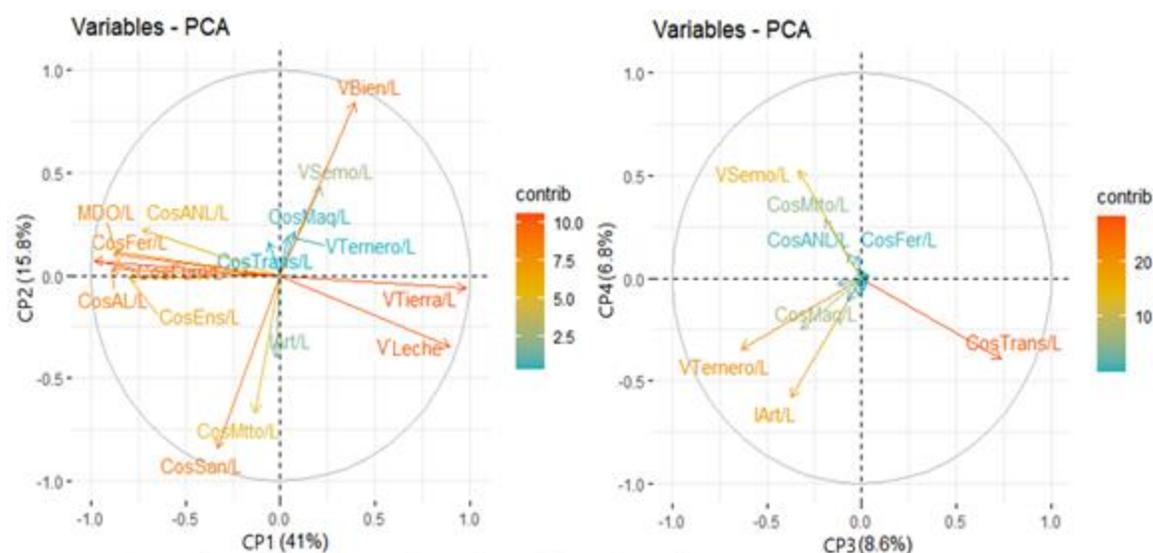


Gráfico 25. Vectores de los componentes principales de tasa de rendimiento de capital/L.

El componente principal 1 (CP1) está representado en el eje de la X (Gráfico 25), para el cual el parámetro de entrada *venta de ternero/L*, *costo de transporte/L* y *costos de inseminación artificial/L* están más alejados del eje, lo que se interpreta como la menor contribución. Para el componente principal 2 (CP2) representado en el eje Y, *costos de sanidad/L* y *valor de bienes/L* están más cerca al eje y con un color naranja intenso, indicando que son las de mayor contribución. En el gráfico de la derecha se compara el componente 3 y 4 podemos observar que *costo de transporte* es la de mayor contribución, dado su color naranja intenso, mientras que *costos de mantenimiento/L* y *costo de maquinaria/L* los de menor contribución. En términos generales, *venta de ternero/L* tiene el mayor aporte a los componentes. Sin embargo, las contribuciones de los parámetros *costos de inseminación artificial/L*, *costo de transporte/L* y *costo de maquinaria/L* son significativas, lo que nos indica que estos deben ser controlados para evitar su incremento, ya que implicaría una disminución de la *tasa de rendimiento de capital/L*. Por la sumatoria de contribuciones de las variables en cada componente, *costo de maquinaria/L* es la variable que mayor peso tiene en la explicación del indicador tasa de rendimiento de capital por litro producido. Sin embargo, es un parámetro con poca variación en su valor año a año, por tal

motivo es pertinente centrarse en otras variables como *la venta de terneros* y *costo de inseminación artificial* (reproducción del hato ganadero), y *el costo de transporte* a través de una mayor eficiencia en la recolección de la leche para mejorar la tasa de rendimiento de capital por litro de leche producido (Tabla 9).

De acuerdo con las componentes resultantes de cada modelo encontramos que el costo de *maquinaria/L* es la variable original con mayor peso en los modelos, seguido de *venta de ternero/L* y *costos de inseminación artificial/L*. Por el aporte en la ecuación matemática de los índices, en cualquiera de las situaciones un incremento en el *costo de maquinaria/L* e *inseminación artificial/L*, disminuirá la rentabilidad. Por su parte, incrementos en la *venta de ternero/L* aumenta las posibilidades de mejorar la rentabilidad de la finca lechera. Opuesto a lo anterior, encontramos que *costo de ensilaje/L* y *mano de obra/L* son las variables que en su contribución acumulada presentan los valores más bajos. Esto no quiere decir que sean variables nulas, sino que un aumento o disminución de ellas no representa un cambio significativo en los indicadores de rentabilidad.

#### 4.3.2 Regresión lineal múltiple

- **Modelo 4: Utilidad después de costos de alimentación por litro producido**

La regresión lineal múltiple sobre la utilidad después de costos de alimentación la ejecutamos con las siguientes variables: *venta de ternero/L*, *venta de leche/L*, *costos de ensilaje/L*, *costos de alimento balanceado no lactantes/L*, *costo de alimentación lactante/L*, *costo de fertilizante/L*, *costo de fumigación/L*. Sin embargo, la variable *costo de fumigación/L* fue excluida, debido a que su factor de inflación de la varianza indicaba multicolinealidad (>5). El modelo presenta un r-ajustado de 99,98% y al ser mayor a 70% nos indica que el modelo tiene una buena precisión para la predicción del comportamiento de la variable respuesta *utilidad después de alimentación/L* (Tabla 10). El modelo resultante cumple con los supuestos de normalidad, varianza constante e independencia de los residuales.

$$\frac{UA}{L} = 10,51 + 0,97 VLeche/L + 0,99 VTernero/L - 1,005 CosANL/L - 1,018 CosAL/L - 1,104 CosEns/L - 1,054 CosFer/L + \varepsilon$$

		Estimado	Std Error	t valor	Pr(> t )	
0	(Intercepto)	10,51	2,03	5,17	0,00000237	***
1	Venta de leche/L	0,97	0,002	331,86	< 2E-16	***
2	Venta de ternero/L	0,99	0,002	437,82	< 2E-16	***
3	Costos de alimentación no lactantes/L	-1,00	0,009	-104,61	< 2E-16	***
4	Costo de alimentación Lactante/l	-1,01	0,005	-184	< 2E-16	***
5	Costos de ensilaje/L	-1,10	0,04	-25,27	< 2E-16	***
6	Costo de fertilizante/L	-1,05	0,01	-67,66	< 2E-16	***
Múltiple R-cuadrado		0,99	R- cuadrado Ajustado: 0,99		p-valor: < 2.2e-16	

Tabla 10. Modelo de regresión de utilidad después de alimentación/L.

La utilidad después de costos de alimentación por litro producido en promedio es de \$10,51. Podemos inferir que el *costo de ensilaje/L* tiene un efecto negativo (-1,10) sobre la *utilidad después de alimentación/L*, siendo el valor de mayor impacto en comparación a las demás variables. Un aumento de una unidad en los costos evaluados tendrá un mayor efecto, que un aumento de una unidad en los ingresos. Además, se puede deducir que, para obtener utilidad se deberá generar más de 2,1 veces el costo a nivel de ingresos por combinación de ventas de la leche producida y ventas de ternero para cubrir \$1 de cada uno de los costos.

● **Modelo 5: Margen bruto por litro producido**

La regresión lineal múltiple para el indicador margen bruto por litro producido la ejecutamos con lo siguiente índices: *venta de ternero/L*, *venta de leche/L*, *mano de obra/L*, *costo de transporte/L*, *costos de ensilaje/L*, *costos de alimento balanceado no lactantes/L*, *costo de alimento balanceado lactante/L*, *costo de fertilizante/L*, *costo de fumigación/L*, *costos de sanidad/L*, *costo de maquinaria/L*, *costos de inseminación artificial/L*, y *costos de mantenimiento/L*. Fueron excluidas del modelo el *costo de fumigación/L*, debido a que su factor de inflación de la varianza mostraba multicolinealidad (>5), y los *costos de sanidad/L*, *costos de inseminación artificial/L* y *costos de mantenimiento/L* por no tener significancia para el modelo (p-valor > 0.1). El modelo nos arroja un r-ajustado de 99,39% (Tabla 11) y al ser mayor a 70% nos indica que el modelo tiene una buena precisión para la predicción del comportamiento de la variable respuesta *margen bruto/L*. El modelo resultante cumple con los supuestos de normalidad, varianza constante e independencia de los residuales.

$$\frac{MB}{L} = 3,47x10^{-1} + 4,52x10^{-4} VTernero/L + 4,58x10^{-4} VLeche/L - 7,10x10^{-4} MDO/L - 4,51x10^{-4} CosTrans/L - 9,42x10^{-4} CosEnsL - 7,20x10^{-4} CosANL/L - 7,61x10^{-4} CosALL/L - 8,56x10^{-4} CosFer/L - 7,45x10^{-4} CosMaq/L + \varepsilon$$

		Estimado	Std. Error	t valor	Pr(> t )	
0	(Intercepto)	3,47E-01	7,42E-03	46,83	<2E-16	***
1	Venta de ternero/L	4,52E-04	7,58E-06	59,66	<2E-16	***
2	Venta de leche/L	4,58E-04	1,04E-05	44,18	<2E-16	***
3	Mano de obra/L	-7,10E-04	4,18E-05	-16,96	<2E-16	***
4	Costo de transporte/L	-4,51E-04	1,45E-04	-3,10	0.002	**
5	Costos de ensilaje/L	-9,42E-04	1,47E-04	-6,40	2,29E-08	***
6	Costos de alimentación no lactantes/L	-7,20E-04	2,91E-05	-24,75	<2E-16	***
7	Costo de alimentación lactante/L	-7,61E-04	1,91E-05	-39,84	<2E-16	***
8	Costo de fertilizante/L	-8,56E-04	5,08E-05	-16,83	<2E-16	***
9	Costo de maquinaria/L	-7,45E-04	3,11E-05	-23,96	<2E-16	***
Múltiple R- cuadrado: 0,99			R- cuadrado Ajustado: 0, 99		p-valor: < 2.2e-16	

Tabla 11. Modelo de regresión de margen bruto /L.

En promedio el *margen bruto/L* es de 34,7% aproximadamente. Podemos deducir que existe un efecto positivo de *venta de ternero/L* y *venta de leche/L* sobre *margen bruto/L*, donde por cada 100 pesos adicionales en venta de ternero aumentaríamos el margen bruto en 4,5% y

por cada 100 pesos adicionales en precio de leche aumentaríamos el margen bruto en 4,6%, por lo cual se recomienda utilizar programa de cría encaminado a producir suficientes reemplazos, pero que, adicionalmente, pueda generar crías con cruces o que puedan ser dedicadas a un programa de cría de machos para potencialmente vender terneros, generar producción de leche continua y aumentar la rentabilidad de la finca. Con relación a los costos, los valores de los estimados tienen mayor efecto absoluto en comparación con los ingresos, no obstante, son efectos negativos. Los costos con mayor efecto sobre el *margen bruto/L* son los relacionados a la alimentación considerando el ensilaje, alimentación de no lactantes, alimentación de lactante y fertilizantes, por cada 100 pesos adicionales en estos costos disminuye el margen bruto un 33%. Lo que conlleva que se requiera mayores esfuerzos para generar ingresos en mayor proporción que los costos para no disminuir el *margen bruto/L*, es decir, se deben generar 3,6 veces el costo de alimentación a nivel de ingresos para no afectar el margen bruto.

- **Modelo 6: Tasa de rendimiento por litro producido.**

La regresión lineal múltiple para el indicador tasa de rendimiento por litro producido la ejecutamos con los siguientes parámetros: *venta de ternero/L*, *venta de leche/L*, *mano de obra/L*, *costo de transporte/L*, *costos de ensilaje/L*, *costos de alimento balanceado no lactantes/L*, *costo de alimento balanceado lactante/L*, *costo de fertilizante/L*, *costo de fumigación/L*, *costos de sanidad/L*, *costo de maquinaria/L*, *costos de inseminación artificial/L*, *costos de mantenimiento/L*, *valor de semovientes/L*, *valor de bienes/L* y *valor de la tierra/L*. De las cuales fueron excluidas las variables *valor de bienes/L* y *valor de la tierra/L*, porque presentaban multicolinealidad de acuerdo con el factor de inflación de varianza (>5) y *costo de transporte/L*, *costos de sanidad/L*, *costos de inseminación artificial/L* y *costos de mantenimiento/L* por no tener significancia para el modelo. El modelo presenta un r-ajustado de 98,63% (Tabla 12) y al ser mayor a 70% nos indica que el modelo tiene una buena precisión para la predicción del comportamiento de la variable respuesta. El modelo resultante cumple con los supuestos de normalidad, varianza constante e independencia de los residuales.

$$\begin{aligned} \frac{TRC}{L} = & 5.84 \times 10^{-3} + 1.30 \times 10^{-5} V_{\text{Ternero/L}} + 1.36 \times 10^{-5} V_{\text{Leche/L}} - 1.24 \times 10^{-5} MDO/L \\ & - 1.47 \times 10^{-5} Cos_{\text{Ens/L}} - 1.23 \times 10^{-5} Cos_{\text{ANL/L}} - 1.33 \times 10^{-5} Cos_{\text{ANL/L}} \\ & - 1.92 \times 10^{-5} Cos_{\text{Fer/L}} - 1.79 \times 10^{-4} Cos_{\text{Fum/L}} - 1.36 \times 10^{-5} Cos_{\text{Maq/L}} \\ & - 1.09 \times 10^{-7} V_{\text{Semo/L}} + \varepsilon \end{aligned}$$

		Estimado	Std. Error	t valor	Pr(> t )	
0	(Intercepto)	5,84E-03	3,61E-04	16,19	< 2E-16	***
1	Venta de ternero/L	1,30E-05	2,95E-07	44,12	< 2E-16	***
2	Venta de leche/L	1,36E-05	4,85E-07	27,95	< 2E-16	***
3	Mano de obra/L	-1,24E-05	1,86E-06	-6,66	8,75E-09	***
4	Costos de ensilaje/L	-1,47E-05	6,23E-06	-2,36	0,0211	*
5	Costos de alimentación no lactantes/L	-1,23E-05	1,19E-06	-10,31	5,33E-15	***
6	Costo de alimentación lactante/L	-1,33E-05	7,90E-07	-16,84	< 2E-16	***
7	Costo de fertilizante/L	-1,92E-05	1,96E-06	-9,77	4,18E-14	***
8	Costo de fumigación/L	-1,79E-04	1,75E-05	-10,25	6,63E-15	***
9	Costo de maquinaria/L	-1,36E-05	1,19E-06	-11,47	< 2E-16	***
10	Valor de semovientes/L	-1,09E-07	2,48E-08	-4,38	0,0000459	***
Múltiple R- cuadrado: 0,98		R- cuadrado Ajustado: 0,98		p-valor: < 2.2e-16		

Tabla 12. Modelo de regresión de tasa de rendimiento de capital.

Se puede inferir que existe un efecto positivo de *venta de ternero/L* y *venta de leche/L* sobre tasa de rendimiento por litro producido, donde por cada 100 pesos adicionales en venta de ternero y *venta de leche/L* aumentaríamos en 0,13% y 0,14% la tasa de rendimiento por litro de leche producido. Por tal motivo, es más importante producir mayor cantidad de leche que vender terneros para mejorar la tasa de rendimiento por litro producido en la finca.

Con respecto a los costos, en general, los valores de los estimados tienen efectos similares a los ingresos, no obstante, son efectos negativos. Se destaca el costo de fumigación por litro producido, el cual por cada 100 pesos adicionales disminuye la tasa de rendimiento por litro producido en 1,79%, indicando que se debe crear un plan de fumigación para controlar el costo de forma que no impacte la tasa de rendimiento por litro producido de la finca. Adicionalmente, se deben generar 2,2 veces el costo de alimentación a nivel de ingresos para no afectar la tasa de rendimiento del capital invertido. Por otra parte, cuando analizamos las variables de capital dentro del modelo, las variables *Valor de bienes/L* y *valor de tierra/L* fueron excluidas. Esto quiere decir que dentro del capital invertido las variaciones que se presenten en el hato ganadero (semovientes) son las que impactan la tasa de rendimiento por litro producido, por cada peso adicional en inversión de semovientes se requiere generar 4,09 veces dicha inversión en ingresos ya sea por venta de terneros, venta de leche producida o ambos.

#### 4.3.3 Regresión lineal múltiple - Componentes Principales (RL- PCA)

En el siguiente apartado evaluamos la incidencia de los componentes principales de los parámetros de entrada con cada variable respuesta. Lo anterior con el fin de conocer si la contribución o loading de cada variable hace mayor efecto en la relación con las variables respuestas en modelos de regresión múltiple.

- **Modelo 7: Utilidad después de costos de alimentación**

En la aplicación de componentes principales en los parámetros de entrada relacionados a la variable respuesta *utilidad después de alimentación/L* y, para garantizar que al menos el 75% de la varianza de los datos es explicada por los componentes principales, se seleccionaron dos

componentes principales. Aplicamos regresión lineal múltiple a los componentes principales junto a la variable respuesta. El modelo nos arroja un r-ajustado de 63,33% (Tabla 13), por lo cual no se descarta que el modelo tiene una buena precisión para la predicción del comportamiento de la variable respuesta de *utilidad después de alimentación/L*.

$$\frac{UA}{L} = 709,69 + 7,76 CP_1 + 57,98 CP_2 + \varepsilon$$

	Estimado	Std. Error	t valor	Pr(> t )	
(Intercepto)	709,69	5,16	137,49	< 2E-16	***
CP1	7,76	2,42	3,20	0,002	**
CP2	57,98	5,28	10,97	< 2E-16	***
Múltiple R- cuadrado: 0,64		R- cuadrado Ajustado: 0,6333		p-valor: 3,476e-16	

Tabla 13. Modelo de regresión de los componentes principales de utilidad después de alimentación/L.

	Variables	CP1	CP2	suma
1	Venta de leche/L	18,71	0,04	18,76
2	Venta de ternero/L	0,04	98,95	98,99
3	Costos de alimento balanceado no lactantes/L	13,38	0,58	13,97
4	Costo de alimento balanceado lactante/L	16,82	0,03	16,85
5	Costos de ensilaje/L	13,59	0,06	13,66
6	Costo de fertilizante/L	17,39	0,14	17,53
7	Costo de fumigación/L	20,04	0,16	20,21

Tabla 14. Contribución de las variables predictoras en componentes principales en la variable utilidad después de alimentación/L.

Teniendo en cuenta las contribuciones de las variables predictoras (Tabla 14) en los componentes principales y el modelo de regresión con estas componentes (Tabla 13), encontramos que la variable *venta de ternero/L* representa la mayor contribución en el CP2, además, al ser éste componente el de mayor participación en la regresión, diríamos en primera instancia que aumentar esta variable es una excelente opción para incrementar la utilidad después de costos de alimentación. Sin embargo, esta variable dependerá de los partos de macho que se den en el período, por esta razón y sin descartar esa estrategia, se deberá trabajar en aumentar la venta de leche por medio de la consecución de bonificación, así como también el control de los costos de alimentación.

- **Modelo 8: Margen bruto por litro producido**

En la aplicación de componentes principales en los parámetros de entrada relacionados a la variable respuesta *margen bruto/L*, para el 75% de la varianza explicada del modelo, se seleccionaron cinco componentes principales. Aplicamos regresión lineal múltiple a los componentes principales junto a la variable respuesta. El modelo nos arroja un r-ajustado de 71,49% (Tabla 15), al ser mayor que el 70% indica que el modelo tiene una buena precisión para la predicción del comportamiento de la variable respuesta de *margen bruto/L*.

$$\frac{MB}{L} = 0,37 - 0,01 CP_1 - 0,005 CP_2 + 0,01 CP_3 - 0,01 CP_4 - 0,005 CP_5 + \varepsilon$$

	Estimado	Std. Error	t valor	Pr(> t )	
(Intercepto)	0,37	0,002	129,99	< 2E-16	***
CP1	-0,01	0,001	-9,78	1,77E-14	***
CP2	-0,005	0,002	-2,7	0,008	**
CP3	0,01	0,002	6,91	2,25E-09	***
CP4	-0,01	0,002	-4,58	2,06E-05	***
CP5	-0,005	0,002	-1,76	0,08	.

Múltiple R- cuadrado: 0,73 R- cuadrado Ajustado: 0,71 p-valor: < 2,2e-16

Tabla 15. Modelo de regresión componentes principales de margen bruto /L.

Variables	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	suma
Venta de ternero/L	0,03	0,002	29,19	45,68	3,45	78,36
Venta de leche/L	15,55	2,94	0,03	0,68	0,01	19,24
Mano de obra/L	14,3	0,45	0,19	0,33	0,28	15,57
Costo de transporte/L	0,42	6,6	40,35	1,82	0,61	49,82
Costos de ensilaje/L	11,1	1,12	2,63	1,08	0,51	16,45
Costos de alimento balanceado no lactantes/L	10,66	0,49	1,54	0,33	0,04	13,09
Costo de alimentación lactante/L	14,52	0,2	0,2	0,76	0,001	15,7
Costo de fertilizante/L	14,69	0,07	0,001	0,01	0,02	14,81
Costo de fumigación/L	17,19	0,01	0,06	0,03	0,004	17,3
Costos de sanidad/L	1,25	35	2,98	0,75	4,16	44,17
Costo de maquinaria/L	0,08	3,16	18,19	10,54	52,97	84,95
Costos de inseminación artificial/L	0,01	19,66	2,44	27,36	24,48	73,96
Costos de mantenimiento/L	0,13	30,24	2,15	10,58	13,4	56,52

Tabla 16. Contribución de las variables predictoras en componentes principales en la variable margen bruto/L.

Teniendo en cuenta las contribuciones de las variables predictoras (Tabla 16) en los componentes principales y el modelo de regresión con estas componentes (Tabla 16), podemos decir que los componentes CP1, CP2, CP4 y CP5 disminuyen la variable *margen bruto/L*. Lo anterior nos indica que variables como *costo de alimentación lactante/L*, *costo de fertilizante/L*, *costo de fumigación/L*, *costos de sanidad/L*, *costos de mantenimiento/L*, *costo de maquinaria/L* y *costos de inseminación artificial/L* por su contribución en los componentes deberán ser controladas, pues un aumento en estas implica una disminución significativa del *margen bruto/L*. El coeficiente de PC3 nos indica que aumentará el *margen bruto/L* y observando la contribución de las variables para este componente, *costo de transporte/L* y *venta de ternero/L* son las variables de mayor impacto. Sin embargo, estas variables no dependen directamente de la finca lechera, por lo cual se sugiere hacer mejores negociaciones con empresas transportadoras y aumentar las ventas de terneros.

● **Modelo 9: Tasa de rendimiento de capital**

En la aplicación de componentes principales en los parámetros de entrada relacionados a la variable respuesta *tasa de rendimiento de capital/L*, para el 75% de la varianza explicada del modelo, se seleccionaron cinco componentes principales. El modelo nos arroja un r-ajustado de 76,67% (Tabla 17), al ser mayor que el 70% indica que el modelo tiene una buena precisión para la predicción del comportamiento de la variable respuesta de *tasa de rendimiento de capital/L*.

$$\frac{TRC}{L} = 6.79 \times 10^{-3} - 2.96 \times 10^{-4} CP_1 - 9.66 \times 10^{-5} CP_2 + 4.76 \times 10^{-4} CP_3 + 4.27 \times 10^{-4} CP_5 + \varepsilon$$

	Estimado	Std. Error	t valor	Pr(> t )	
(Intercepto)	6,79E-03	6,84E-05	99,20	<2E-16	***
CP1	-2,96E-04	2,67E-05	-11,10	<2E-16	***
CP2	-9,66E-05	4,24E-05	-2,28	0,02	*
CP3	4,76E-04	5,92E-05	8,04	2,02E-11	***
CP5	4,27E-04	7,16E-05	5,961	1,04E-07	***

Múltiple R- cuadrado: 0,77      R- cuadrado Ajustado: 0,7667      p-valor: < 2,2e-16

Tabla 17. Modelo de regresión de componentes principales de tasa de rendimiento capital/L.

Variables	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	suma
Venta de ternero/L	4,54E-02	0,79	2,40E+01	0,85	5,28E+01	76,85
Venta de leche/L	1,24E+01	4,21	1,79E-01	0,26	6,87E-02	12,65
mano de obra/L	1,17E+01	1,01	6,19E-02	0,0007	4,55E-01	12,22
costo de transporte/L	3,01E-01	0,81	5,13E+01	0,001	4,29E+00	55,89
costos de ensilaje/L	9,33E+00	0,14	2,12E+00	2,03	2,32E-02	11,47
costos de alimentación no lactantes/L	8,47E+00	1,13	8,29E-01	0,93	7,26E-06	9,30
costo de alimentación lactante/L	1,20E+01	0,09	2,86E-04	1,6	5,18E-02	12,05
costo de fertilizante/L	1,21E+01	0,54	3,86E-02	0,43	9,25E-01	13,06
costo de fumigación/L	1,45E+01	0,15	1,62E-02	0,03	7,83E-02	14,59
costos de sanidad/L	1,65E+00	28,31	1,02E-01	0,43	1,31E+00	3,06
costo de maquinaria/L	9,58E-02	1,42	7,64E+00	25,54	1,41E+01	21,84
costos de inseminación artificial/L	5,84E-04	7,17	3,43E-01	37,39	4,69E-02	0,39
costos de mantenimiento/L	2,64E-01	17,52	5,10E+00	5,03	1,50E+00	6,86
valor de semovientes/L	7,52E-01	5,41	8,02E+00	25,02	2,28E+01	31,57
valor de bienes/L	1,96E+00	31,15	7,98E-02	0,17	1,33E+00	3,37
valor de la tierra/L	1,44E+01	0,08	1,26E-01	0,23	1,69E-01	14,70

Tabla 18. Contribución de las variables predictoras en componentes principales en la variable tasa de rendimiento capital/L.

Teniendo en cuenta las contribuciones de las variables predictoras (Tabla 18) en los componentes principales y el modelo de regresión con estas componentes (Tabla 17), encontramos que los componentes PC1 y PC2 disminuyen la variable *tasa de rendimiento de capital/L*, mientras que PC3 y PC5 la aumentan y PC4 no es tenido en cuenta en el modelo por su poca significancia. Lo anterior nos indica que variables como *costo de alimentación lactante/L*, *costo de fertilizante/L*, *costo de fumigación/L*, *costos de sanidad/L* y *costos de mantenimiento/L*,

por su contribución en los componentes deberán ser controladas, un aumento en estas implicaría una disminución significativa de *tasa de rendimiento de capital/L*. El coeficiente de PC3 y PC5 nos indican que aumentarán la *tasa de rendimiento de capital/L* y observando la contribución de las variables para este componente, *costo de transporte/L* y *venta de ternero/L* son las variables de mayor impacto.

#### 4.3.4 Selección y validación del modelo

Luego de generados los tres modelos para cada uno de los tres indicadores de rentabilidad, se proponen diversas métricas (RMSE, COR, R2) de evaluación y validación para comparar el desempeño de los modelos en la predicción y explicación del comportamiento de las variables explicadas en función de los efectos de las variables predictoras, y seleccionar la mejor metodología aplicada para determinar las determinantes de rentabilidad (Tabla 19).

		RMSE	COR	R2
Componentes principales	Utilidad después de alimentación/L	7,97	0,995	0,99
	Margen bruto/L	0,0098	0,982	0,964
	Tasa de rendimiento de capital/L	0,0005	0,923	0,852
Regresión Lineal Múltiple	Utilidad después de alimentación/L	1,19	0,999	0,999
	Margen bruto/L	0,0054	0,994	0,989
	Tasa de rendimiento de capital/L	0,0005	0,964	0,9308
Componentes principales - Regresión Lineal	Utilidad después de alimentación/L	42,835	0,862	0,744
	Margen bruto/L	0,0346	0,729	0,532
	Tasa de rendimiento de capital/L	0,0007	0,853	0,728

Tabla 19. Medición de la calidad de los modelos.

*RMSE= error cuadrático medio, COR= correlación existente entre valores reales y valores predichos, R2= R cuadrado.*

El error cuadrático medio, RMSE se puede interpretar como la desviación estándar de la varianza inexplicada, y tiene la propiedad de estar en las mismas unidades que la variable de respuesta. Podemos observar que para todas las variables de respuesta tenemos una mejor aproximación en el modelo de regresión lineal múltiple (error más cercano a 0), siendo una buena medida de la precisión con la que el modelo predice la variable respuesta.

La medida de desempeño COR representa la correlación entre los valores predichos y las observaciones reales. De acuerdo con lo anterior, la regresión lineal múltiple aplicada a los componentes principales obtuvo valores más alejados de 1 (valor deseado). El modelo de componentes principales tiene buenos resultados entre 0,92 y 0,99, sin embargo, se obtienen mejores resultados en la regresión lineal múltiple ya que aproximadamente es 1 en todos los casos.

El R2 o el estadístico de bondad de ajuste es una medida que representa la capacidad del modelo para explicar la variabilidad presente en el comportamiento de la variable de respuesta en función de las variables predictoras, y de qué tan bien se ajusta el modelo a los datos. Para

los modelos realizados podemos observar que para todas las variables respuesta, nuevamente el modelo de regresión lineal múltiple presenta R cuadrado más cercano al 100%. Por lo cual, se concluye que explica en mayor cantidad la variabilidad del comportamiento de las variables de respuesta.

#### **4.4 Consideraciones finales**

Colombia se ha caracterizado por ser un país ganadero donde predomina la agricultura familiar, es decir núcleos familiares dedicados a la actividad ganadera como medio de subsistencia y fuente de ingresos. La característica sociodemográfica de escolaridad de los productores del sector lácteo indica que un 69,4% de ellos obtuvieron o alcanzaron un nivel de escolaridad entre preescolar, básica primaria y básica secundaria. Lo anterior, demuestra que la mayoría de los productores no tienen conocimientos académicos adquiridos en áreas financieras, agronomía, zootecnia y economía que les permita tener capacidades, herramientas y conocimientos en ejes temáticos como la rentabilidad, productividad, costos e indicadores. Como resultado, en Colombia predomina el conocimiento empírico en la ejecución de la actividad de producción de leche, debido a la tradición familiar del trabajo en agricultura para la transmisión del conocimiento del productor.

En conclusión y considerando los resultados obtenidos en esta etapa, podemos señalar que se acepta parcialmente la hipótesis planteada “la baja productividad y competitividad del eslabón primario del sector lácteo colombiano está asociada con el nivel de tecnificación o la falta de conocimiento específico de las tareas”.

Existen otros factores que afectan la productividad y competitividad como el volumen de producción por vaca, los costos de alimentación, el uso del área (tierras) y mejoramiento de la calidad higiénico-sanitaria, en pro de fortalecer el sector en el mercado nacional y capitalizar oportunidades en mercados externos con el fin de disminuir importaciones y aumentar exportaciones. Es por esto, por lo que no se puede establecer como única la asociación entre la baja productividad y competitividad con el nivel de tecnificación del proceso de producción de leche o la falta de conocimiento específico de las tareas. Teniendo en cuenta las métricas para la validación y evaluación de los modelos, seleccionamos la metodología de regresión lineal múltiple aplicada a cada variable respuesta como la metodología para establecer los determinantes de rentabilidad en la finca lechera. De acuerdo con los modelos resultantes, se descartan los parámetros de entrada que no son tenidos en cuenta en la regresión lineal múltiple de cada variable respuesta (Tabla 20). Lo anterior nos indica que la utilidad bruta después de los costos alimentación por litro producido, no tiene sensibilidad ante la variación del costo de fumigación por litro producido. Por su parte, los parámetros de costos de fumigación, costos de sanidad, costo de inseminación artificial, costos de mantenimiento por litro producido, no son significativos para explicar la variación del margen bruto por litro producido. Para la tasa de rendimiento de capital por litro producido no hay efecto en su resultado ante el incremento o la disminución de los parámetros: valor de los bienes, valor de la tierra, costo de transporte, costos de sanidad, costo de inseminación artificial y costos de mantenimiento por litro producido.

Parámetro de entrada	Variable respuesta		
	Utilidad después de alimentación /L	Margen Bruto/L	Tasa de rendimiento de capital/L
Precio leche /L	Si	Si	Si
Venta de ternero/L	Si	Si	Si
Valor de los bienes/L			Se descarta
Valor de la tierra/L			Se descarta
Valor en semovientes/L			Si
Mano de obra contratada/L		Si	Si
Costo de Transporte/L		Si	Se descarta
Costo de Ensilaje/L	Si	Si	Si
Costo alimentación lactantes/L	Si	Si	Si
Costo alimentación no lactantes/L	Si	Si	Si
Costo fertilizante/L	Si	Si	Si
Costos de fumigación/L	Se descarta	Se descarta	Si
Costos de sanidad/L		Se descarta	Se descarta
Costo de inseminación artificial/L		Se descarta	Se descarta
Costos de maquinaria/L		Si	Si
Costos de mantenimiento/L		Se descarta	Se descarta

Tabla 20. Determinantes de rentabilidad.

En trabajos como el de Resende et al. (2010) sugieren invertir en alimentos balanceados, tener una alta producción por vaca y disminuir el costo de la mano de obra para lograr mayor rentabilidad en las fincas lecheras. Sin embargo, luego de ejecutados los modelos para cada variable respuesta, en nuestro caso de estudio encontramos que *venta de ternero/L* y *venta de leche/L* son las variables de alto impacto dentro de los cálculos de los indicadores de rentabilidad, por esto se sugiere mejorar en la calidad de la leche, cumplir las condiciones de higiene y buenas prácticas ganaderas y mantener la cadena de frío, criterios que son tenidos en cuenta para la aplicación de bonificaciones en el precio de la leche. En cuanto a la venta de ternero, tenemos que su impacto es mayor que la venta de leche, y a pesar de no ser el objetivo principal de las lecherías, se sugiere tener en cuenta estrategias como la cría de terneros o inseminación artificial de razas para ganado de carne, para el incremento de los ingresos.

Coincidimos con Resende et al. (2010) en que la intensificación o no del factor tierra no fue un gran determinante de la rentabilidad, dado su baja significancia para el modelo de tasa de rendimiento de capital por litro producido; esto se explica en qué hacer inversiones en tierra o bienes de infraestructura no representa un aumento de la producción de leche, pues con el aprovechamiento de los activos presentes se podrá mejorar los indicadores de rentabilidad. Así mismo, para la mano de obra contratada, se destaca la importancia del trabajo familiar ya que la mano de obra externa y altamente calificada que, como en nuestro caso de estudio, se convierte en un factor de control para evitar la disminución de los indicadores de rentabilidad.

En conclusión, la utilidad después de costos de alimentación por litro producido es, en promedio, de \$10,51; el margen bruto/L es de 34,7% en promedio y la tasa de rendimiento del capital por litro producido es, en promedio, de 0,58%. Además, se evidencia una clara relación entre los costos de alimentación y los ingresos que puede tener utilidad práctica para la toma de decisiones en pro de mejorar los indicadores de rentabilidad de la finca lechera. En general, por cada peso adicional en costos de alimentación se debe generar al menos 3,6 veces dicho valor en ingresos, ya sea por venta de terneros o venta de leche para aumentar la utilidad después de

costos de alimentación, el margen bruto por litro de leche producido y la tasa de rendimiento de capital por litro producido. Sin embargo, es posible generar al menos 2,2 veces el costo de alimentación a nivel de ingreso, escenario en el cual solo afectaríamos el margen bruto por litro de leche producido, pero seguiremos aumentando la utilidad y la tasa de rendimiento de capital por litro producido. En el caso más extremo se debe al menos generar 2,1 veces el costo de alimentación a nivel de ingresos para aumentar la utilidad después de costos de alimentación, disminuyendo el margen bruto por litro de leche producido y la tasa de rendimiento de capital por litro producido.

Teniendo en cuenta el impacto de las variables asociadas a la alimentación, se sugiere la alimentación de ensilaje o pastoreo como opciones de suplementación antes que alimento balanceado, esto se debe a que invertir en forrajes tiene menor impacto en la disminución de los indicadores de rentabilidad que un gasto adicional en concentrados. Por su parte, con relación al costo de maquinaria se destaca que por cada peso adicional de costo en maquinaria se debe generar al menos el 80% de dicho valor en ingresos adicionales para mantener la tasa de rendimiento de capital por litro producido y el margen bruto por litro producido, lo que se sugiere hacer mantenimientos preventivos a las máquinas, para no incurrir en compra de nuevos equipos. Con relación al capital invertido por los socios se deben considerar principalmente las variaciones en el valor del hato ganadero (semovientes) debido al impacto en la tasa de rendimiento de capital por litro producido, infiriendo que por cada peso adicional en inversión de semovientes se requiere generar 4,09 veces dicha inversión en ingresos, ya sea por venta de terneros, venta de leche producida o ambos para no afectar la tasa de rendimiento de capital por litro producido. Si bien, los modelos nos indican que la variable venta de ternero por litro producido es la de mayor impacto en los indicadores de rentabilidad y se sugiere un incremento de ventas para mejorar la rentabilidad, se debe tener presente que la finca caso de estudio es una finca de hato ganadero cerrado. Lo anterior indica que no hace compra de terneros machos para vender, como tampoco terneras para reemplazo. Además, el levante de un ternero para la venta incurre en costos de alimentación y costos de sanidad, los cuales actualmente se han incrementado como consecuencia de la crisis de aprovisionamiento a nivel mundial.

Con relación a los costos de transporte, se conoce que estas tarifas son establecidas por los participantes de la cadena de suministros de la zona (centros de acopio, cooperativas, finqueros). Se sugiere implementar estrategias de zonificación y agrupación de fincas que permitan optimizar la operación de recolección a los centros de acopio, para así disminuir distancias y mejorar costos.

Parámetros como costos de sanidad/L, costo de inseminación artificial/L y costos de mantenimiento/L a pesar de no ser tenidos en cuenta en los modelos de regresión lineal múltiple para cada uno de los indicadores de rentabilidad, no deberán ser descuidados en su totalidad. Mantener un costo marginal de los costos de sanidad influirá en las condiciones de bienestar del hato y por ende en la calidad de la leche producida, que mencionado anteriormente, trae beneficios con bonificaciones extras pagadas al productor. Los parámetros reproductivos no fueron tenidos en cuenta para los costos de inseminación artificial, esto pudo afectar en la poca variabilidad y bajos costos, haciendo que no sea significativa para la regresión. Sin embargo, debemos tener en cuenta que la inseminación de las vacas es lo que hace el cambio de su etapa (pasan a producción), lo que quiere decir que dejar de lado esta estrategia, disminuirá las vacas lactantes y por ende bajarán los litros de leche producidos.

# Capítulo V

## Conclusiones

Colombia se ha caracterizado por ser un país ganadero con sistemas de producción doble propósito o lechería especializada donde ha predominado la agricultura familiar. Sin embargo, se enfrenta a diversos riesgos externos que representan amenazas al sector, como lo es el aumento anual de ingreso de productos importados debido a los tratados de libre comercio firmados recientemente por el gobierno. Asimismo, se han identificado varios problemas y dificultades en la cadena de suministro del sector lácteo colombiano desde su eslabón primario que disminuyen su competitividad, afectando su rentabilidad. Entre estas dificultades, se considera el desconocimiento de las determinantes de rentabilidad y cómo estas afectan el resultado financiero en la operación de producción y venta de leche. Por lo tanto, es imperativo establecer las determinantes de rentabilidad de las fincas lecheras para enfocar los esfuerzos de gestión y operación sobre estas. Sin duda, la identificación de estas determinantes en fincas lecheras ha cobrado una importancia significativa para mejorar la competitividad de las fincas desde sus resultados financieros, garantizando la permanencia del negocio en el tiempo.

La revisión de la literatura enfocada en aplicaciones de analítica que abordaran la identificación de determinantes de rentabilidad, teniendo en cuenta cinco ejes temáticos: indicadores zootécnicos, indicadores económicos, productividad, costos y rentabilidad; permitió establecer valiosos conocimientos para la investigación actual y direcciones claras para futuros estudios.

Nuestra revisión de literatura nos permite concluir que, el estudio de las determinantes de rentabilidad ha sido un problema interesante de abordar en la última década. Adicionalmente, se evidenció que la analítica prescriptiva es el enfoque de solución más utilizado en el estudio de las determinantes de rentabilidad para evaluar escenarios, estrategias y análisis de sensibilidad enfocados a la medición y optimización de la rentabilidad. Sin embargo, debido a que en Colombia cuenta con pocos estudios enfocados a las determinantes de rentabilidad, es pertinente, en primera instancia, definir e identificar cuáles son las variables que permiten explicar el comportamiento de dicho indicador en fincas lecheras mediante metodologías de analítica predictiva.

La metodología propuesta y el foco de este estudio fue identificar las determinantes de rentabilidad a partir de los datos contables y productivos de un caso de estudio, utilizando tres metodologías de analítica predictiva con el objetivo de proporcionar conocimiento, recomendaciones e instrucciones para la toma de decisiones en la gestión operativa y financiera de la finca lechera en pro de mejorar su rentabilidad.

Se propusieron varias métricas de desempeño para evaluar y validar los modelos generados por las tres metodologías en cada uno de los indicadores de rentabilidad, midiendo la capacidad de los modelos para explicar el comportamiento y las relaciones causa-efectos de los parámetros de entrada con los indicadores de rentabilidad. Seleccionamos la regresión lineal múltiple como metodología, los modelos demostraron tener la capacidad de calcular la rentabilidad bajo parámetros de entrada de común manejo en las fincas lecheras del país, explicando en general más del 93% de la variabilidad en el comportamiento de los indicadores de rentabilidad. El análisis de los modelos arroja hallazgos interesantes con implicaciones gerenciales para la operación de la finca lechera.

Se identificaron varias direcciones para estudios futuros, se recomienda expandir la muestra a datos de fincas de diferentes regiones de Colombia con el fin de validar las determinantes encontradas, al igual que, la relación de las determinantes con diferentes

contextos y/o entornos geográficos, tipos de producción, diferentes razas y especies del hato ganadero, tipos de alimentación y condiciones de bienestar del hato. Además, la retroalimentación de nuestro estudio puede ser la base para abordar las determinantes de rentabilidad desde el enfoque de analítica prescriptiva con el fin de optimizar el modelo y/o proceso de negocio lechero evaluando políticas de optimización, mejoras de nivel de servicio, recomendación de acciones y soportar la toma de decisiones.

El presente estudio fue limitado con el acceso a datos de diferentes fincas, solo tuvimos acceso a la finca experimental que hace parte del centro de prácticas y desarrollo agrario de la Universidad de Antioquia. El trabajo con fincas experimentales asociadas a centros educativos corre el riesgo de un posible sesgo debido a falta de representatividad de la población. Sin embargo, se tuvo en cuenta que la finca comparte características similares a las fincas de la región y representa ventajas frente a la disponibilidad y colaboración en trabajos investigativos y experimentales.

Los resultados demostraron que, para mejorar los indicadores de rentabilidad del negocio lechero, los productores no deberían enfocarse en todo tipo de parámetros y variables, sino, establecer metas para la relación ingreso vs costo que permita generar utilidad después de costos de alimentación por litro producido, aumentar el margen bruto por litro producido y/o aumentar la tasa de rendimiento de capital por litro producido. Esto quiere decir, aumentar los ingresos por medio del incremento de las ventas de terneros, aumentar el volumen de leche producida y disminuir o controlar costos de alimentación para aumentar la utilidad después de costos de alimentación por litro producido y el margen bruto por litro producido. Aumentar los ingresos a través de la venta de leche, mantener la inversión en infraestructura, y bienes y controlar los costos de alimentación, especialmente los costos de fumigación, ya que genera un incremento en la tasa de rendimiento de capital por litro producido.

Los hallazgos apoyan la hipótesis de existencia de relación entre los parámetros de entradas seleccionados y el cálculo de rentabilidad en fincas lecheras, como se evidenció en los resultados obtenidos. Finalmente, este resultado tiene una profunda utilidad práctica, ya que, permiten identificar las determinantes de rentabilidad, al igual que y su papel en la toma de decisiones estratégicas y técnicas en sistemas de producción lechera.

# **ANEXOS**

### Anexo 1: Entrevista



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
 Entrevista de diagnóstico de niveles técnicos y de conocimiento específico

1. ¿Usted autoriza la realización de esta entrevista?: Si...x.... No.....  
 2. Nombre completo del entrevistado: Diana Muñeton  
 3. Edad del entrevistado: Número celular o teléfono:  
 4. Su principal fuente de ingresos económicos es: (marque con una X)

	Productor agropecuario		Empleado independiente
	Empleado de empresa particular		Empleador
x	Empleado público		Jornalero
	Empleado doméstico		

5. Nombre del predio: Centro de prácticas y centro agrario la Montaña  
 6.Cuál es la tenencia del predio: (marque con una X)

x	Propio
	Arrendado

7. Cuantas personas viven en esta propiedad: 3 personas- 2 casas  
 8. Cuantas personas tiene a cargo económicamente: 3  
 9. Cuántas de personas son: mano de obra familiar\_\_\_ o contratada\_\_17\_\_\_, 4 practicantes  
 10. Cuantas personas de la familia trabajan en la finca: -  
 11.Cuál es el grado de escolaridad de las personas con las que trabaja:(marque con una X)

	Preescolar	x	Tecnológico (1)
x	Básica primaria	x	Universitario
x	Básica Secundaria	x	Posgrado (1 administrador)
	Media		Ninguno de los anteriores
	Técnico		Analfabeta

- 12.Cuál es la distancia en kilómetros del predio a la cabecera municipal: (marque con una X)

	Entre 0,5 km y 1 km		Entre 5 km a 10 km
x	Entre 1 km a 5 km		Mayor a 10 km

- 13.Cuál es la distancia en horas o minutos del predio, a la cabecera municipal en el medio de transporte que más utiliza: (marque con una X)

	x	10 min		2 horas		1 hora
		40 min		Mayor a 2 horas		

14. Pertenece a alguna organización social o comunitaria: (marque con una X)

x	Si		No
---	----	--	----

15. A cuál organización comunitaria pertenece: (marque con una X)

<input checked="" type="checkbox"/>	Asociación	<input type="checkbox"/>	Corporación
<input type="checkbox"/>	Otro		

Cooperativa colanta, fenavi

16. Tiene en su finca un computador o celular inteligente:

<input checked="" type="checkbox"/>	Si	<input type="checkbox"/>	No
-------------------------------------	----	--------------------------	----

Cual: computador-cel.

17. El régimen de seguridad social en salud de los empleados es: (marque con una X)

<input checked="" type="checkbox"/>	Contributivo	<input type="checkbox"/>	Subsidiado	<input type="checkbox"/>	Ninguno
-------------------------------------	--------------	--------------------------	------------	--------------------------	---------

18. Tiene crédito con alguna entidad financiera para su actividad productiva: (marque con una X)

<input type="checkbox"/>	Si	<input checked="" type="checkbox"/>	No
--------------------------	----	-------------------------------------	----

19. Pertenece a una organización productiva: (marque con una X)

<input checked="" type="checkbox"/>	Si	<input type="checkbox"/>	No
-------------------------------------	----	--------------------------	----

20. El predio dispone de agua suficiente para la producción agropecuaria: (marque con una X)

<input checked="" type="checkbox"/>	Si	<input type="checkbox"/>	No
-------------------------------------	----	--------------------------	----

21. El agua para consumo animal es tomada de: (marque con una X)

<input checked="" type="checkbox"/>	Nacimiento	<input type="checkbox"/>	Lago	<input type="checkbox"/>	Quebrada
<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	Laguna	<input checked="" type="checkbox"/>	Acueducto

22. Posee nacimientos de agua dentro del predio: (marque con una X)

<input checked="" type="checkbox"/>	Si	<input type="checkbox"/>	No
-------------------------------------	----	--------------------------	----

23. Qué tipo de ganadería tiene en el predio: (marque con una X)

<input checked="" type="checkbox"/>	Ganadería de leche	<input type="checkbox"/>	Ganadería doble propósito	<input type="checkbox"/>	Ganadería de carne
-------------------------------------	--------------------	--------------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------

24. Qué tipo de maquinaria utiliza en su finca: (marque con una X)

<input checked="" type="checkbox"/>	Moto sierra	<input checked="" type="checkbox"/>	Ripiadora	<input type="checkbox"/>	Secadora a gas	<input type="checkbox"/>	Ninguna
<input checked="" type="checkbox"/>	Guadaña	<input checked="" type="checkbox"/>	Motobomba	<input type="checkbox"/>	Desmucilaginadora		

25. Cuáles son los equipos de labranza que cuenta su finca: (marque X)

<input type="checkbox"/>	Moto azada	<input type="checkbox"/>	Sembradora	<input type="checkbox"/>	Combinada
<input checked="" type="checkbox"/>	Tractor	<input type="checkbox"/>	Cosechadora	<input type="checkbox"/>	Ninguno

26. Vende sus productos agropecuarios principalmente a: (marque con una X)

<input type="checkbox"/>	Mayoristas	<input type="checkbox"/>	Gremios	<input type="checkbox"/>	Al público en general
<input type="checkbox"/>	Intermediarios	<input type="checkbox"/>	Al público en ferias	<input type="checkbox"/>	En la finca
<input checked="" type="checkbox"/>	Cooperativas	<input type="checkbox"/>	En la plaza de mercado	<input type="checkbox"/>	En la cabecera municipal
<input type="checkbox"/>	En la vereda	<input type="checkbox"/>	En veredas vecinas	<input type="checkbox"/>	Fuera del municipio

27. Cuáles de los siguientes problemas considera usted enfrenta la comunidad para la producción y comercialización de los productos agropecuarios: (marque con una X)

<input checked="" type="checkbox"/>	Muy altos costos en los insumos	<input type="checkbox"/>	Falta de agua
<input type="checkbox"/>	Abuso de los intermediarios	<input type="checkbox"/>	No hay acceso a créditos
<input type="checkbox"/>	Precios de los productos bajos	<input type="checkbox"/>	Plagas y enfermedades
<input checked="" type="checkbox"/>	Mala calidad de los suelos	<input type="checkbox"/>	Cambio climático
<input checked="" type="checkbox"/>	Costo de transporte muy altos	<input type="checkbox"/>	Pérdida de vocación agrícola

28. ¿Qué extensión tiene la finca en total?

33,5572	(ha)
---------	------

29. ¿Cuánta tierra tiene para las vacas?

48,2 cuadra (6400m <sup>2</sup> )	(ha)
--------------------------------------	------

30. ¿Qué valor tiene en dinero el predio?

-	(\$/ha)
---	---------

31. ¿Cuántas vacas tiene en producción?

41	(Número de vacas en lactancia)
----	--------------------------------

32. ¿Cuánta leche está produciendo al día

944 promedio	(Leche producida; L/d)
-----------------	------------------------

33. ¿Cuántas vacas adultas hay?

51- 10 secas	(número de vacas adultas)
--------------	---------------------------

34. ¿Cuántas vacas novillas hay?

15	(número de novillas)
----	----------------------

35. ¿Total de animales?

	(hato total)
--	--------------

36. ¿Cuántos bultos de concentrado compra en el mes?

337,5 producido	(uso de concentrados; bultos/mes)
-----------------	-----------------------------------

37. ¿Cuántas horas trabaja el personal externo por mes?

-	(mano de obra contratada) (hr/mes)
---	------------------------------------

38. ¿Qué edad tienen los propietarios de la finca?

-	(edad de los propietarios; años)
---	----------------------------------

39. ¿Conoce el valor de insumos para la producción de leche? (mencionar opciones)

<input checked="" type="checkbox"/>	Si	<input type="checkbox"/>	No
-------------------------------------	----	--------------------------	----

40. ¿Lleva registro de sus gastos?

<input checked="" type="checkbox"/>	Si	<input type="checkbox"/>	No
-------------------------------------	----	--------------------------	----

41. ¿Conoce los costos en los que incurre por la actividad productiva?

<input checked="" type="checkbox"/>	Si	<input type="checkbox"/>	No
-------------------------------------	----	--------------------------	----

Mencione

algunos:

---

42. ¿Sabe cómo se calculan los costos y gastos operacionales?

<input checked="" type="checkbox"/>	Si	<input type="checkbox"/>	No
-------------------------------------	----	--------------------------	----

43. ¿Lleva un control de los ingresos de su actividad económica?

<input checked="" type="checkbox"/>	Si	<input type="checkbox"/>	No
-------------------------------------	----	--------------------------	----

44. ¿Sabe cómo se calcula la rentabilidad?

<input checked="" type="checkbox"/>	Si	<input type="checkbox"/>	No
-------------------------------------	----	--------------------------	----

45. ¿Conoce la rentabilidad de su actividad productiva?

<input checked="" type="checkbox"/>	Si	<input type="checkbox"/>	No
-------------------------------------	----	--------------------------	----

46. ¿Hace seguimiento o análisis de los costos y gastos de insumos en el mercado?  
(Para escoger opciones más económicas)

<input checked="" type="checkbox"/>	Si	<input type="checkbox"/>	No
-------------------------------------	----	--------------------------	----

47. ¿Conoce usted informes de cómo se encuentra el sector lácteo?

<input checked="" type="checkbox"/>	Si	<input type="checkbox"/>	No
-------------------------------------	----	--------------------------	----

Mencione algunas: \_\_\_\_\_

48. ¿Lee con frecuencia noticias del sector?

<input checked="" type="checkbox"/>	Si	<input type="checkbox"/>	No
-------------------------------------	----	--------------------------	----

49. ¿Participa de actividades que fomenten la competitividad de su actividad productiva?

<input checked="" type="checkbox"/>	Si	<input type="checkbox"/>	No
-------------------------------------	----	--------------------------	----

# CARACTERIZACIÓN DEL ESLABÓN PRIMARIO LÁCTEO COLOMBIANO



**28.832.858**  
Cabezas de ganado <sup>[2][3][\*]</sup>



**7.393 millones It/año** <sup>[3][\*]</sup>  
**20.254.795** Litros  
Promedio Vaca  
diarios  
13 litros

**Distribución de Cabezas de  
ganado** <sup>[2][5][\*]</sup>  
2020



**3.459.942**  
Ganadería de  
leche



**12.398.128**  
Ganadería de  
carne



**12.974.786**  
Ganadería doble  
propósito

La Ganadería aporta el <sup>[6]</sup>  
**12,1 % de PIB Agropecuario**



**Distribución de la producción** <sup>[9][\*]</sup>



**9,0%**  
Procesados  
en finca



**7%**  
Consumidos  
en finca



**85,4%**  
vendidos

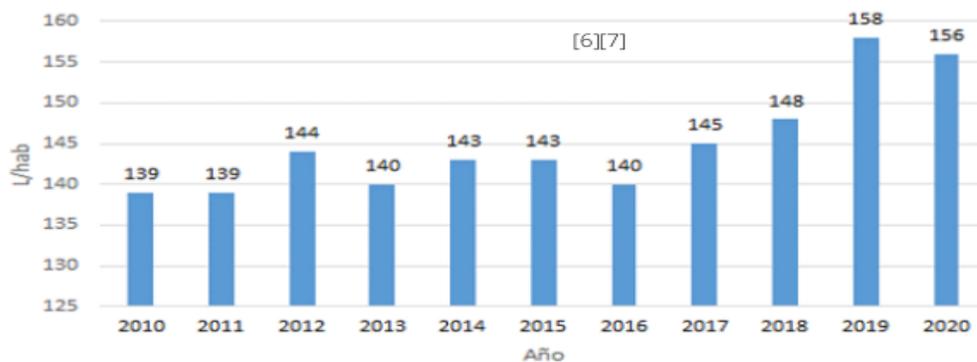
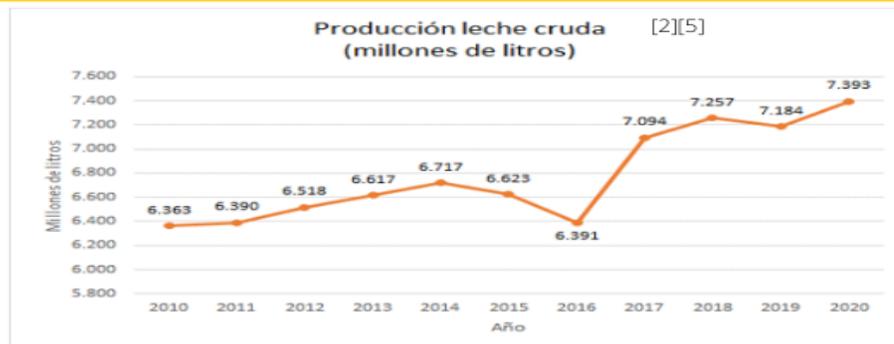


**48%**  
**8.686.532 It**  
**INDUSTRIA** <sup>[4]</sup>



**45%**  
**9.95.801 It**  
**INFORMAL** <sup>[4]</sup>

# CARACTERIZACIÓN DEL ESLABÓN PRIMARIO LÁCTEO COLOMBIANO



Consumo aparente per cápita anual Leche.



Importaciones vs exportaciones de leche y derivados lácteos 2017 - 2020 [8]

[\*] Cifras a 2019 [1] Agronegocios, "CONMEMORACIÓN ANUAL AL SECTOR QUE APORTA 1,6% AL PIB NACIONAL, LOS GANADEROS," 2019. [Online]. Available: <https://www.agronegocios.co/ferias/conmemoracion-anual-al-sector-que-aporta-16-al-pib-nacional-los-ganaderos-2915639>. [2] DANE, "Estadísticas por tema," 2019. [3] "FAOSTAT," [Online]. Available: <http://www.fao.org/faostat/es/#country/44>. [4] FAO, "Portal lácteo FAO," Recogida y transporte, 2019. [5] ICA, "Censo Pecuario año 2020," 2020. [Online]. Available: <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018.aspx>. [6] Fedegan, "Estadísticas 2019," 2019. [Online]. Available: <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/estadisticas>. [7] "SISTEMA EXPERTO DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN (SEDIC) Análisis funcional radiografía del sector lácteo," 2020. [8] Ministerio de Comercio I. y T., "Estadísticas e informes," 2020. [Online]. Available: <https://www.mincit.gov.co/estudios-economicos/estadisticas-e-informes>. [9] Agronet, "Estadísticas," 2020. [Online]. Available: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx>.

## Anexo 3: Resultados estadísticos

### A. Determinantes de la rentabilidad

- **Leche producida:**

Variable continua que corresponde a los litros de leche producidos por las vacas en periodo de lactancia por mes. De acuerdo con la distribución de los datos, la variable sigue una distribución normal, como se muestra en el histograma y gráfico de densidad (Gráfico 30). Además, la producción promedio mensual es de 24.519 litros y presenta una dispersión de más o menos 906,55 litros. Adicionalmente, el 50% de las ocasiones la producción osciló entre 23.853 y 25.160 litros de leche. Se puede observar en el gráfico de caja y bigotes la variabilidad de la producción de leche año a año, siendo los años 2013, 2017 y 2020 los que presentan mayor variabilidad en la cantidad mensual de leche producida. Esta variable se encuentra como denominador en cada índice.

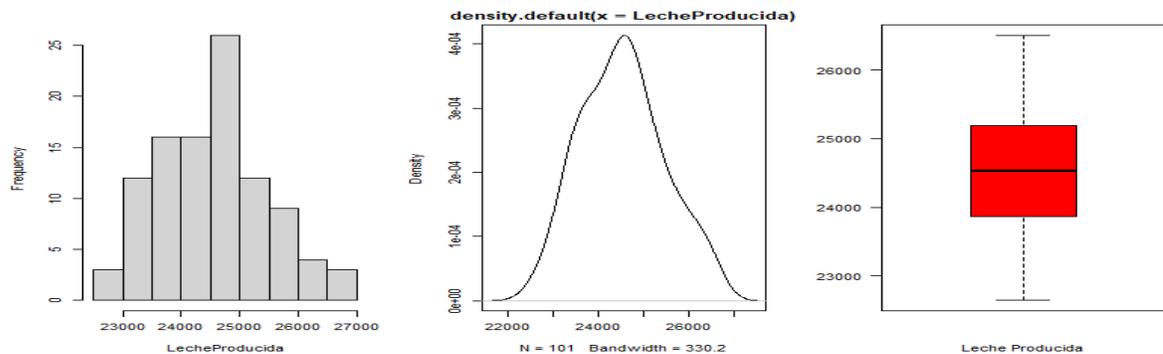
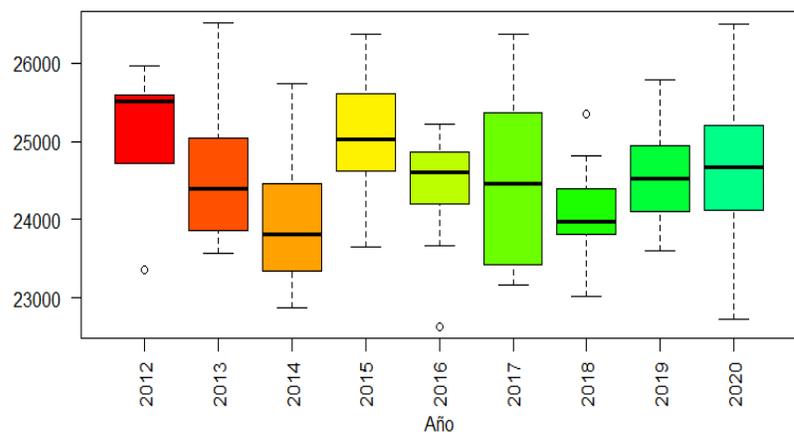


Gráfico 30. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de leche producida.

	LecheProducida
Min.	22.639
1st Qu	23.853
Median	24.527
Mean	24.519
3rd Qu	25.160
Max.	26.505
Sd	906,55
Var	821.842,4
CV	3,69

Tabla 21. Resumen de leche producida.



- **Venta de la Leche:**

Variable continua que define el precio pagado al productor por litro de leche vendido. El precio incluye bonificaciones y tiene una periodicidad mensual. De acuerdo con la distribución de los datos, la variable no sigue una distribución normal, como se muestra en el histograma y gráfico

de densidad (Gráfico 32). El precio promedio en los últimos 9 años es \$1.260 y presenta una dispersión de más o menos \$102,19. El 50% de las ocasiones el precio osciló entre \$1.166 y \$1.338. El comportamiento del precio de la leche muestra un aumento año a año como reflejo del aumento de insumos para la producción de leche y del IPC – índice de precios al consumidor. En términos generales, se puede decir que es una variable de poca variabilidad, solo en el 2017, 2019 y 2020 se presentó mayor dispersión en el precio mensual de la leche.

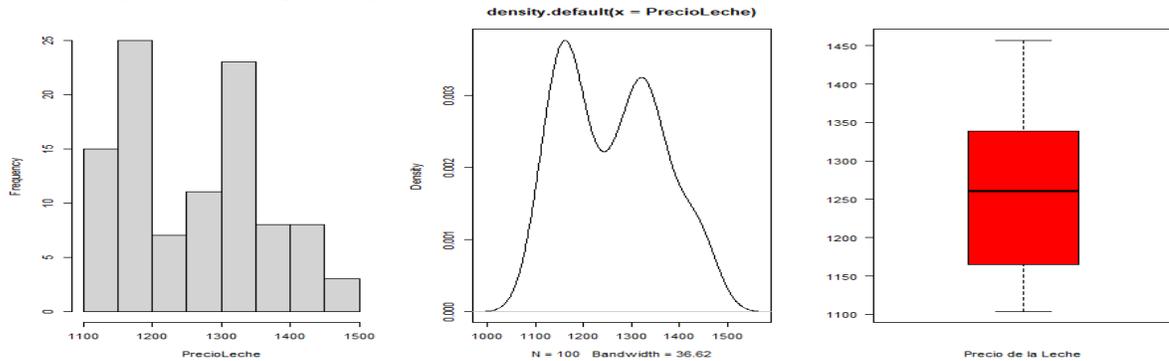
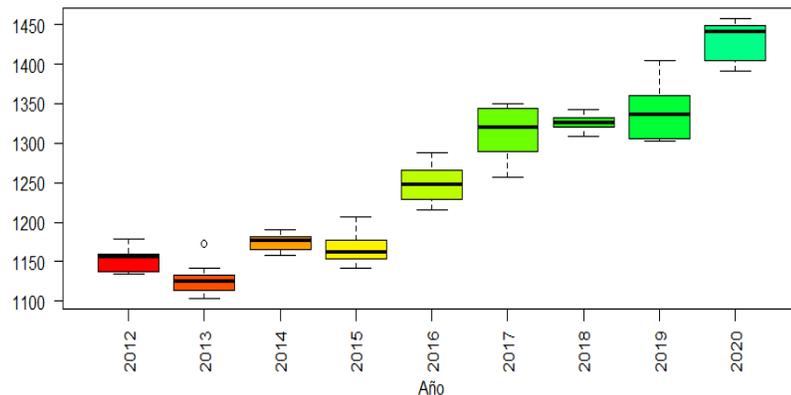


Gráfico 32. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de precio de la leche.

	VLeche/L
Min.	1.104
1st Qu	1.166
Median	1.260
Mean	1.260
3rd Qu	1.338
Max.	1.457
Sd	102,19
Var	10.444,59
CV	8,11

Tabla 22. Resumen de precio de la leche.



- **Venta de ternero por litro producido:**

Variable continua equivalente al valor recibido por la venta de terneros dividido por el total de litros producidos en el mes. De acuerdo con la distribución de los datos, la variable sigue una distribución normal, como se muestra en el histograma y gráfico de densidad (Gráfico 34). El promedio de ingresos por venta de ternero por litro producido es \$108,93/L y presenta una dispersión de más o menos \$60,47/L. El comportamiento de esta variable se ve afectado por el proceso de reproducción y crías, dado que, si en los partos se nace una hembra, no hay venta de ternero, sino que se procede al proceso de levante, ejemplo de esto se presentó en el 2019 donde los ingresos por venta de ternero fueron menores en comparación a los otros años analizados (Gráfico 35).

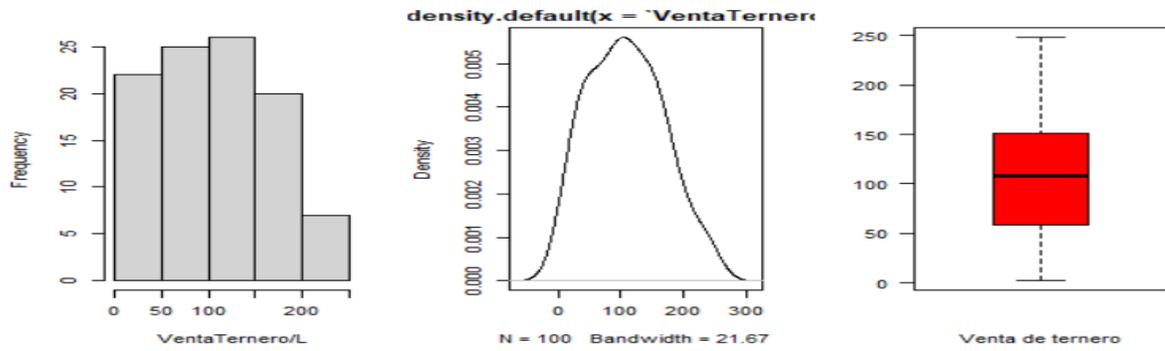
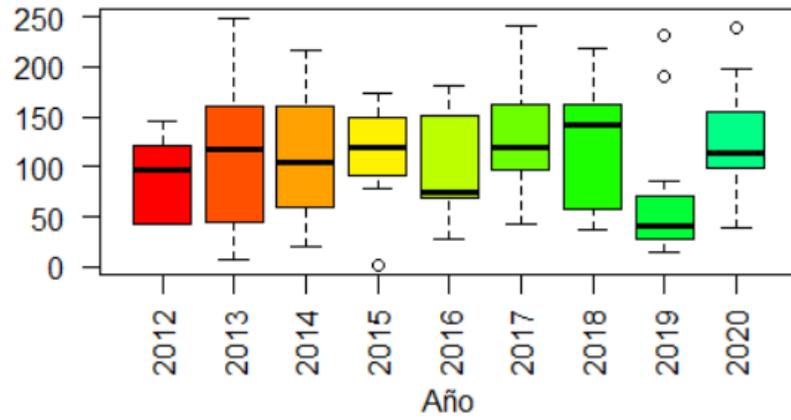


Gráfico 34. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de venta de ternero.

	VTernero/L
Min.	1.90
1st Qu	58,23
Median	108,02
Mean	108,93
3rd Qu	151,32
Max.	248,25
Sd	60,47
Var	3.657,78
CV	55,51

Tabla 23. Resumen de venta de ternero.



- **Valor de los bienes por litro producido (sin tierra):**

Variable continua equivalente al valor de los bienes como equipos, edificios, entre otros, sin incluir el valor de la tierra, con relación a los litros de leche producidos en el mes. De acuerdo con la distribución de los datos, siguen una distribución normal con media de \$2.840 /L y una dispersión de más o menos \$104,5/L. Los valores oscilan en \$2.628/L y \$3.076/L.

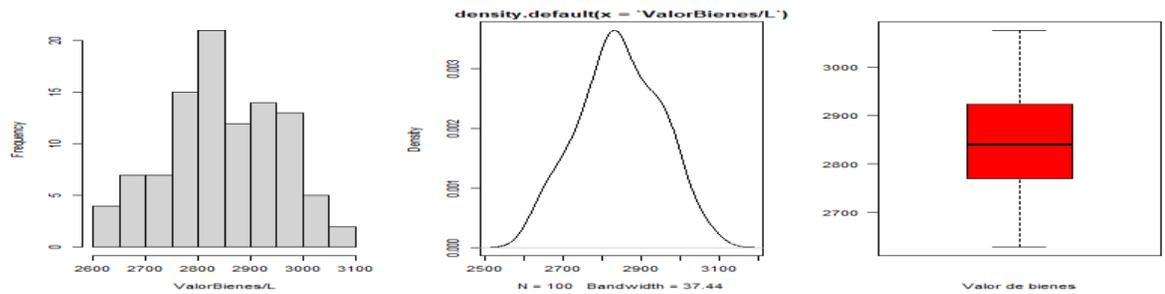
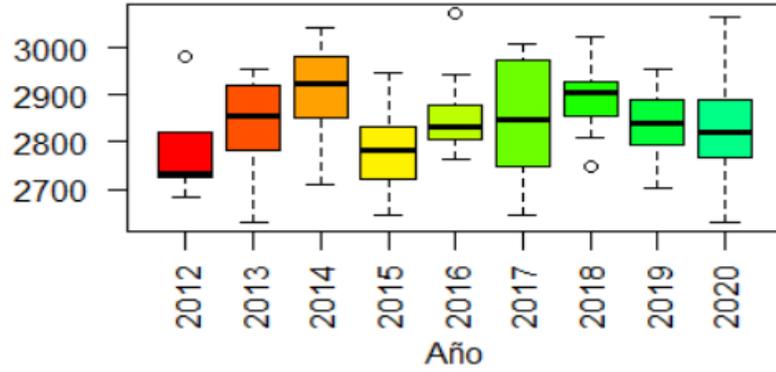


Gráfico 36. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de valor de bienes.

	VBien/L
Min.	2.628
1st Qu	2.770
Median	2.840
Mean	2.846
3rd Qu	2.921
Max.	3.076
Sd	104,5
Var	10.921,82
CV	3,67

Tabla 24. Resumen de valor de bienes.



- **Valor de la tierra por litro producido:**

Variable continua equivalente al valor comercial de las hectáreas que componen la finca lechera con relación a los litros de leche producidos en el mes. De acuerdo con la distribución de los datos, siguen una distribución normal con media de \$65.194/L (Gráfico 38) y una dispersión de más o menos \$8.318,63/L. Los valores oscilan en \$51.443/L y \$83.063/L. En el comportamiento año a año nos muestra un crecimiento propio del aumento del valor comercial de la tierra en el municipio de San Pedro de los Milagros.

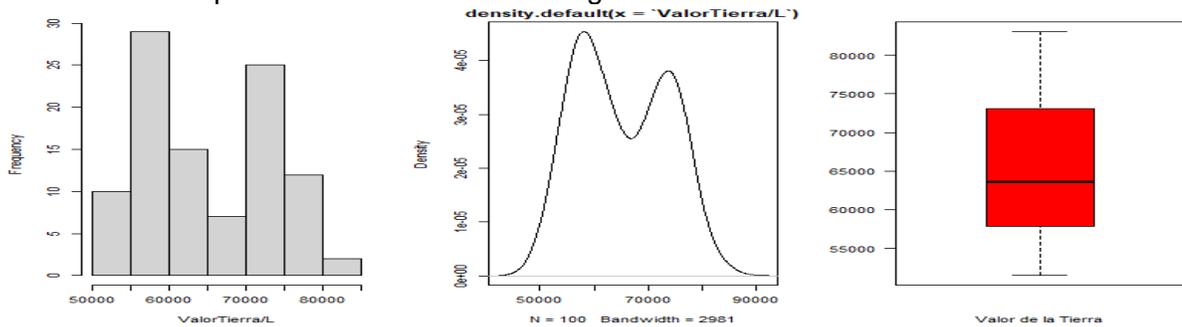


Gráfico 38. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de valor de la tierra.

	VTierra/L
Min.	51.443
1st Qu	57.932
Median	63.559
Mean	65.194
3rd Qu	73.061
Max.	83.063
Sd	8.318,63
Var	69.199.757
CV	12,75

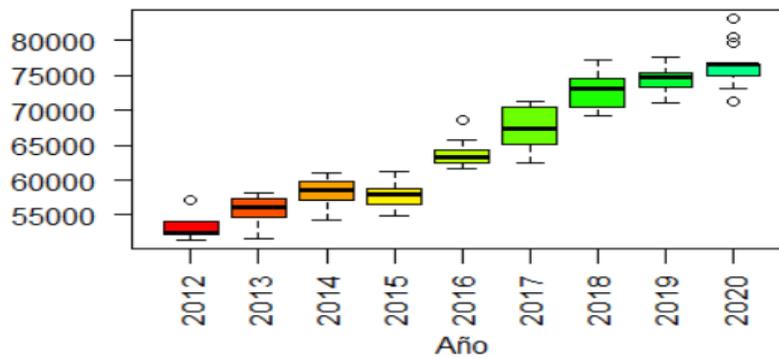


Tabla 25. Resumen de valor de la tierra

- **Valor en semovientes por litro producido:**

Variable continua equivalente al valor patrimonial del ganado con relación a los litros de leche producidos en el mes. De acuerdo con la distribución de los datos, siguen una distribución normal con media de \$7.874/L (Gráfico 39) y una dispersión de más o menos \$759,69/L. En este valor están incluidos todo tipo de ganado presente en la finca, es decir, desde ganado joven, en etapa de producción y vacas secas, los valores oscilan en \$6.102/L y \$9.395/L.

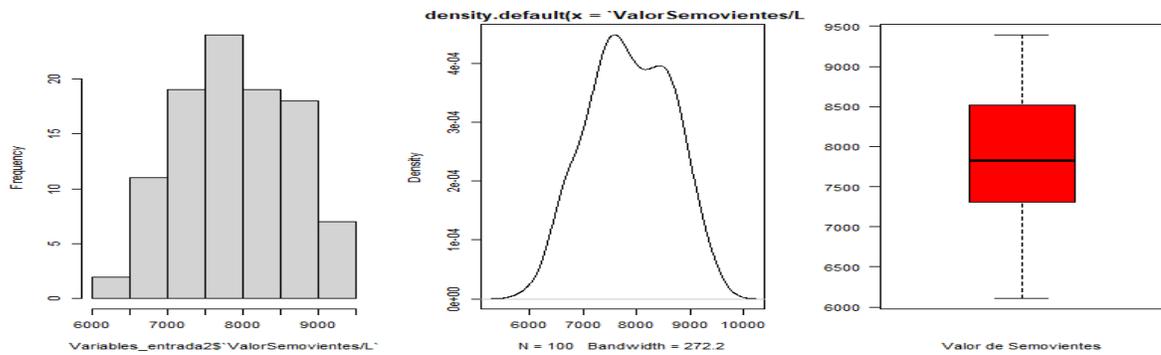


Gráfico 39. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de valor de semovientes.

	VSem/L
Min.	6.102
1st Qu	7.328
Median	7.828
Mean	7.874
3rd Qu	8.499
Max.	9.395
Sd	759,69
Var	577.136,4
CV	9,64

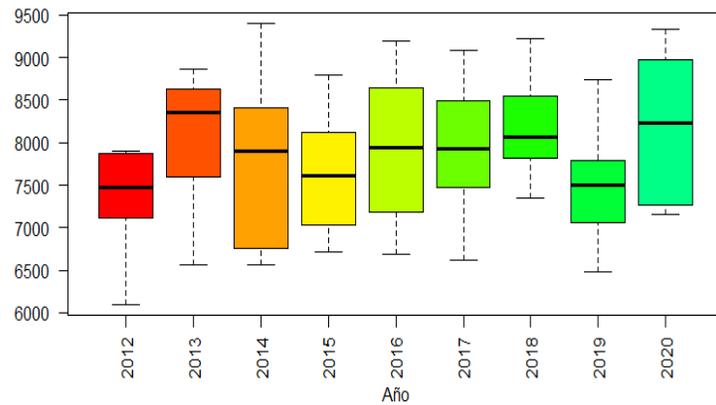


Tabla 26. Resumen de valor de semovientes.

- **Mano de obra contratada operarios por litro producido:**

Variable continua correspondiente a los costos mensuales de personal de la finca lechera por litro de leche producido en el mes. De acuerdo con la distribución de los datos, la variable sigue una distribución normal, como se muestra en histograma y gráfico de densidad (Gráfico 40). Además, el costo promedio es de \$111.43/L y presenta una dispersión de más o menos \$18.22/L. Se puede observar un crecimiento año a año dado por el incremento anual del salario mínimo. La mano de obra calificada con la que cuenta la finca como profesionales en zootecnia y veterinarios hace que este rubro sea mayor en comparación con fincas comúnmente encontradas en la zona.

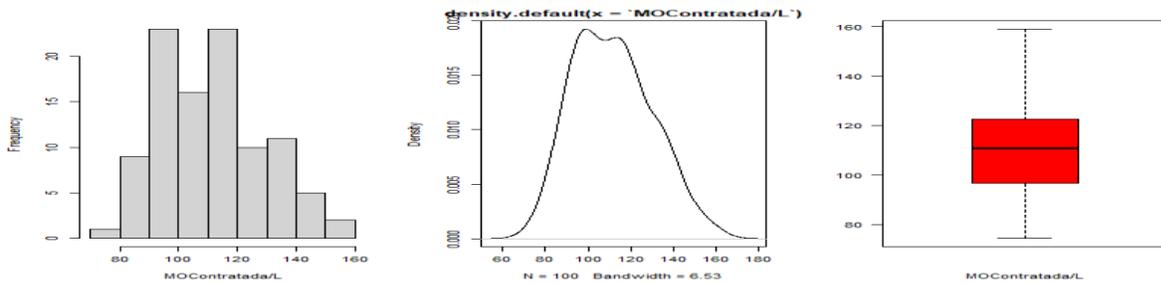
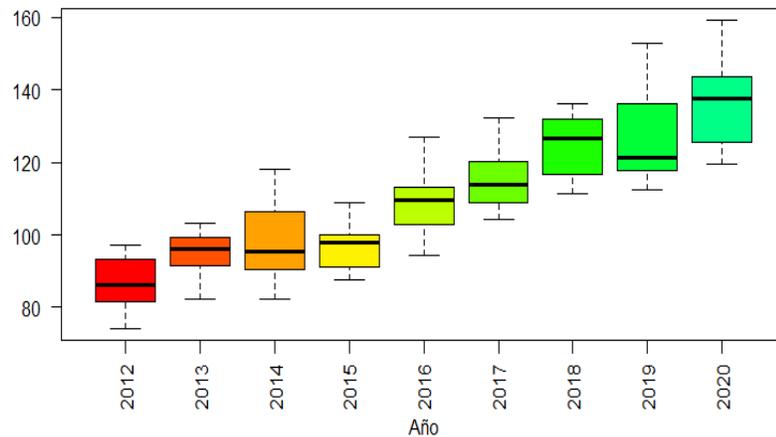


Gráfico 40. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de mano de obra contratada.

	MDO/L
Min.	74,31
1st Qu	96,9
Median	110,78
Mean	111,43
3rd Qu	122,14
Max.	159,04
Sd	18,22
Var	332,17
CV	16,35

Tabla 27. Resumen de mano de obra contratada.



- **Costo de suplementación de ensilaje por litro producido:**

Variable continua que corresponde a los costos mensuales de ensilaje consumido para suplementación del ganado por litro producido. De acuerdo con la distribución de los datos, la variable sigue una distribución normal, como se muestra en histograma y gráfico de densidad (Gráfico 41). Además, el costo promedio es de \$35,87/L y presentan una dispersión de más o menos \$4,21/L. Adicionalmente el 50% de las ocasiones los costos oscilaron entre \$32,52/L y \$39,29/L. El comportamiento año a año muestra una tendencia creciente, asociada al aumento del precio de insumos para la producción de este, siendo el 2014 y 2019 los años con mayor dispersión en el costo mensual de ensilaje y los años 2012, 2018 y 2020 los de menor variación

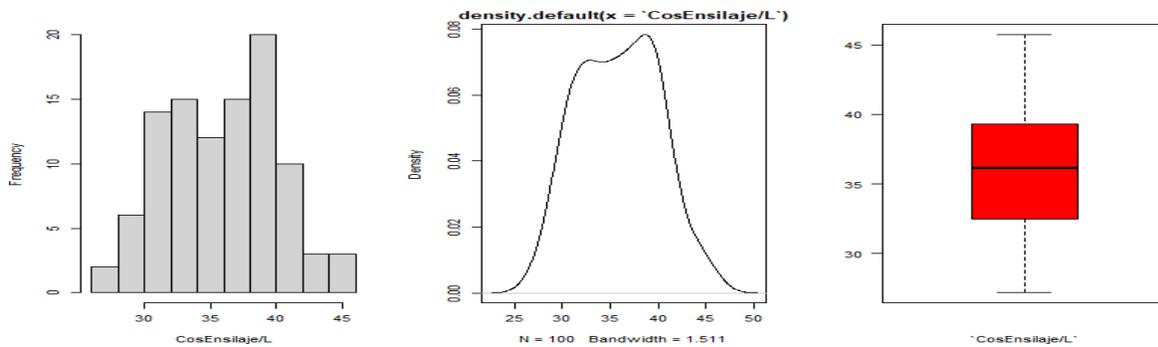


Gráfico 41. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de costos de ensilaje.

	CosEns/L
Min.	27,18
1st Qu	32,52
Median	36,14
Mean	35,87
3rd Qu	39,29
Max.	45,74
Sd	4,21
Var	17,77
CV	11,75

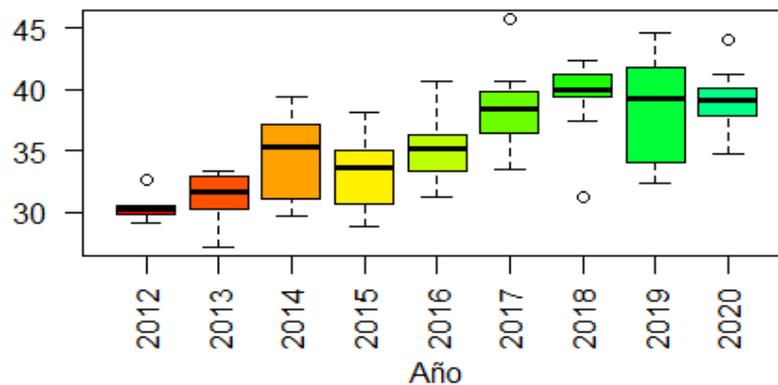


Tabla 8. Resumen de costos de ensilaje.

- **Costo de alimento balanceado de lactantes por litro producido:**

Variable continua que corresponde a los costos mensuales de alimentación exclusivamente de vacas que están lactando por cada litro producido. De acuerdo con la distribución de los datos, sigue una distribución normal, como se muestra en histograma y gráfico de densidad (Gráfico 42). El costo promedio es de \$317,6/L y presentan una dispersión de más o menos \$45,88/L, siendo mayor para los no lactantes (siguiente ítem). El 50% de los datos oscilaron entre \$279/L y \$350/L. Se observa un comportamiento creciente a través de los años influenciados por la cantidad de vacas en etapa de producción y el costo de concentrado incrementado año a año.

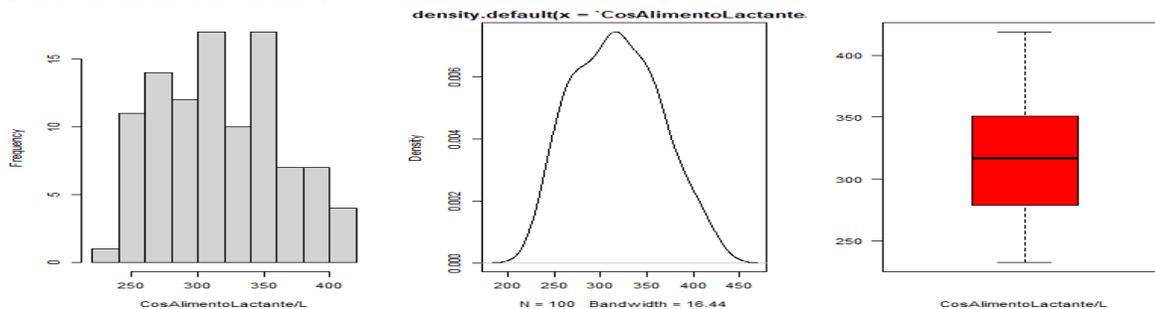


Gráfico 42. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de costos de concentrado de lactantes.

	CosAL/L
Min.	232,4
1st Qu	279
Median	316,6
Mean	317,6
3rd Qu	350,9
Max.	418,9
Sd	45,88
Var	2105,82
CV	14,44

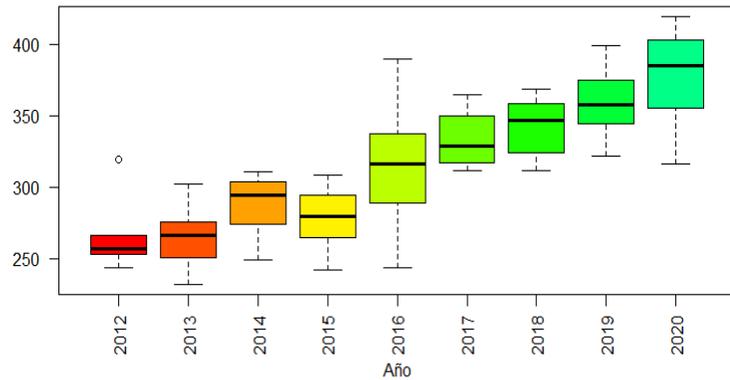


Tabla 28. Resumen de costos de alimento balanceado de lactantes.

- **Costo de alimento balanceado por litro producido:**

Variable continua que corresponde a los costos mensuales de alimentación del ganado por litro producido sin incluir el de vacas lactantes. De acuerdo con la distribución de los datos, la variable sigue una distribución normal, como se muestra en histograma y gráfico de densidad (Gráfico 43), los datos se encuentran entre \$94,88/L y \$198,7/L. El costo promedio \$148,04/L y presentan una dispersión de más o menos \$22,23/L. de manera similar al costo de concentrado de lactantes, presenta un incremento anual respecto al año anterior, causado por el incremento del costo de concentrado en el mercado.

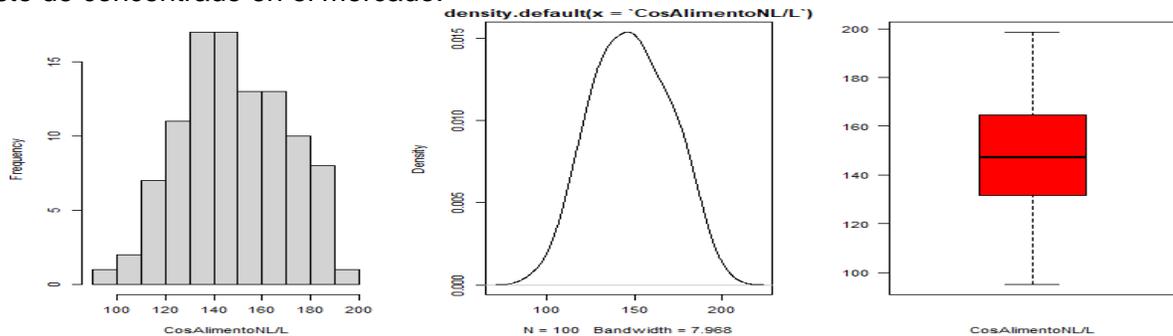


Gráfico 43. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de costos de concentrado no lactantes.

	CosANL/L
Min.	94,88
1st Qu	131,86
Median	147,39
Mean	148,04
3rd Qu	164,32
Max.	198,7
Sd	22,23
Var	494,59
CV	62

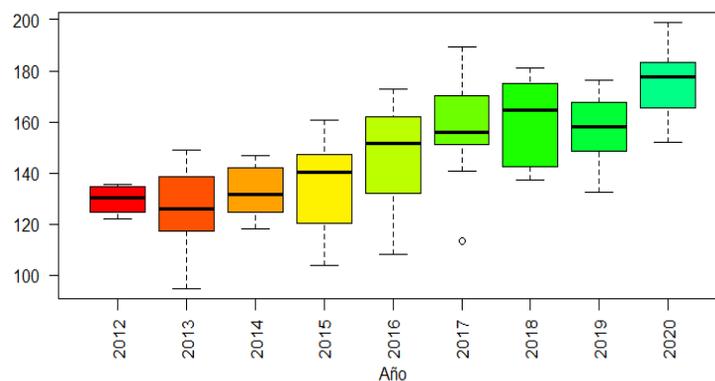


Tabla 29. Resumen de costos de alimentación no lactantes.

- **Costo de fertilización por litro producido:**

Variable continua que corresponde a los costos mensuales asociados a la fertilización de pastos por litro producido, de acuerdo con la distribución de los datos, la variable sigue una distribución normal, como se muestra en histograma y gráfico de densidad (Gráfico 44). El costo promedio es de \$124,42/L y presentan una dispersión de más o menos \$16,97/L. El 50% de los datos oscilaron entre \$110,5/L y \$136,15/L. Se puede observar una tendencia creciente a través de los años, siendo los últimos 5 años más dispersos que los anteriores. Si bien esta variable está influenciada por el tamaño de la finca y este se ha mantenido estable en los últimos años, su crecimiento se debe también al incremento de los precios de los insumos fertilizantes en el mercado (Gráfico 51).

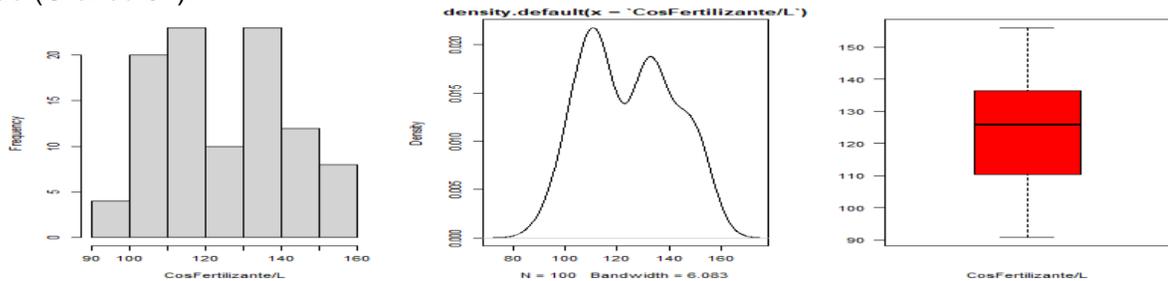


Gráfico 44. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de costos de fertilizante.

	CosFer/L
Min.	90,64
1st Qu	110,5
Median	125,96
Mean	124,42
3rd Qu	136,15
Max.	156,1
Sd	16,97
Var	288,23
CV	13,64

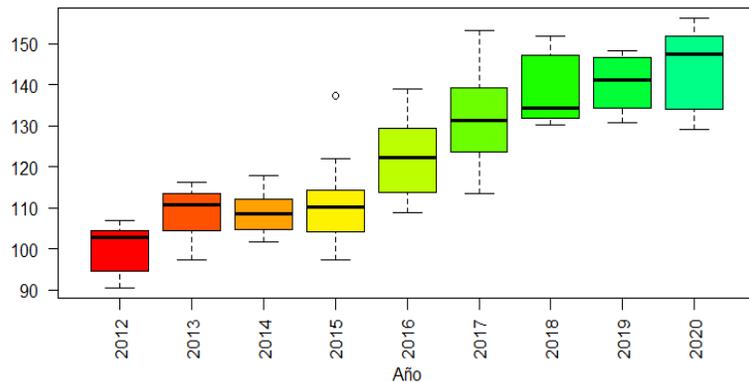


Tabla 30. Resumen de costos de fertilizantes.

- **Costo de fumigación por litro producido:**

Variable continua que corresponde a los costos mensuales asociados a la fumigación de pastos por litro producido. De acuerdo con la distribución de los datos se sospecha que la variable sigue una distribución normal, como se muestra en histograma y gráfico de densidad (Gráfico 50). El costo promedio es de \$33,38/L y presentan una dispersión de más o menos \$4,23/L. De manera similar a los costos de fertilizantes por litro producido, para los costos de fumigación por litro producido se presenta una tendencia creciente influenciada por el aumento del costo de los fungicidas.

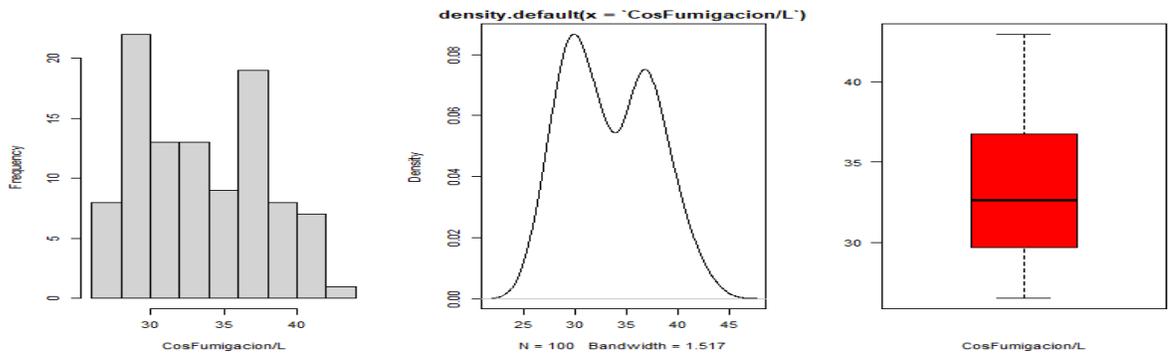
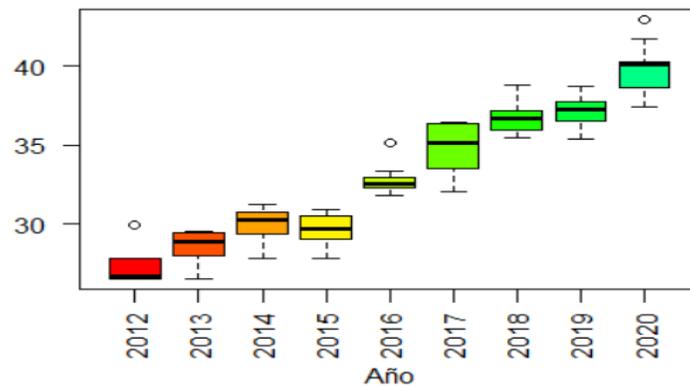


Gráfico 50. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de costos de fumigación.

	CosFum/L
Min.	26,51
1st Qu	29,74
Median	32,64
Mean	33,38
3rd Qu	36,7
Max.	42,94
Sd	4,23
Var	17,92
CV	12,68

Tabla 31. Resumen de costos de fumigación.



- **Costo de sanidad por litro producido:**

Variable continua que corresponde al costo pagado por desparasitación, enfermedades y vacunas en el mes con relación a los litros producidos. De acuerdo con la distribución de los datos, la variable sigue una distribución normal, como se muestra en histograma y gráfico de densidad (Gráfico 51), los datos se encuentran entre \$15,9/L y \$19,1/L. El costo promedio \$17,61/L y presentan una dispersión de más o menos \$0,71/L. Su comportamiento año a año nos muestra que es una variable de baja dispersión confirmada con su coeficiente de variación de 4,03.

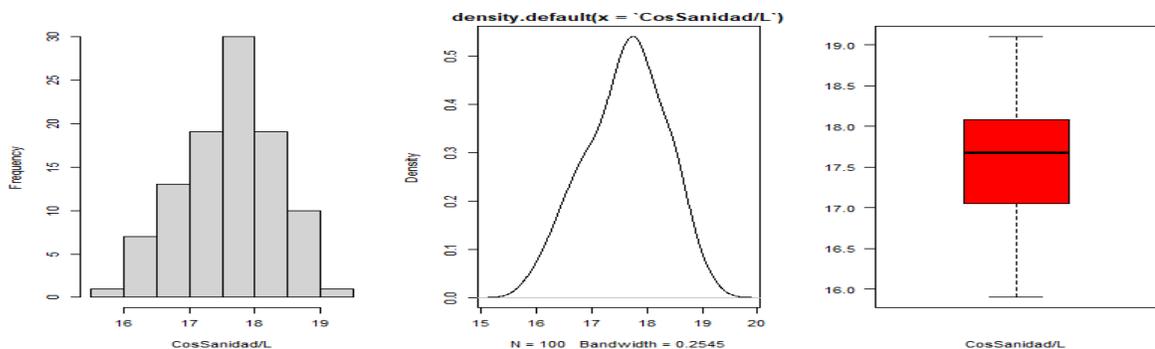
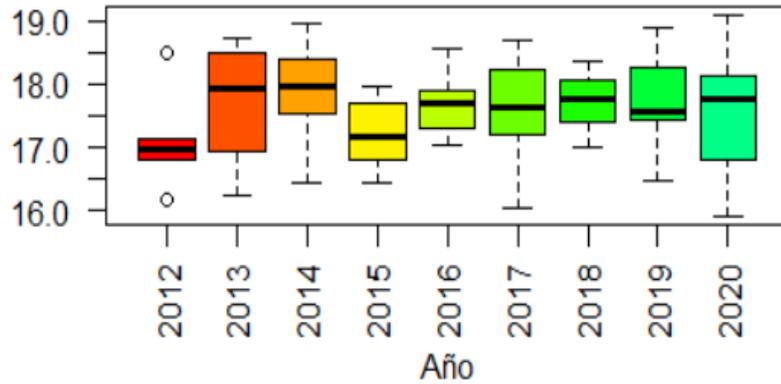


Gráfico 51. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de costos de sanidad.

	CosSan/L
Min.	15,9
1st Qu	17,06
Median	17,68
Mean	17,61
3rd Qu	18,08
Max.	19,1
Sd	0,71
Var	0,5
CV	4,03

Tabla 32. Resumen de costos de sanidad.



- **Costo de transporte por litro producido:**

Variable continua que corresponde a los costos asociados al transporte de leche cruda desde la finca a centros de acopio en el mes por litro de leche. El costo de transporte promedio es de \$30,55/L y presenta una dispersión de más o menos \$3,14/L. El comportamiento de los datos sigue una distribución normal como se muestra en histograma y gráfico de densidad (Gráfico 52). Los valores para esta finca oscilan en \$24/L y \$37/L, pero este puede variar de acuerdo con la zona en que se encuentre ubicada la finca y a las tarifas establecidas por región.

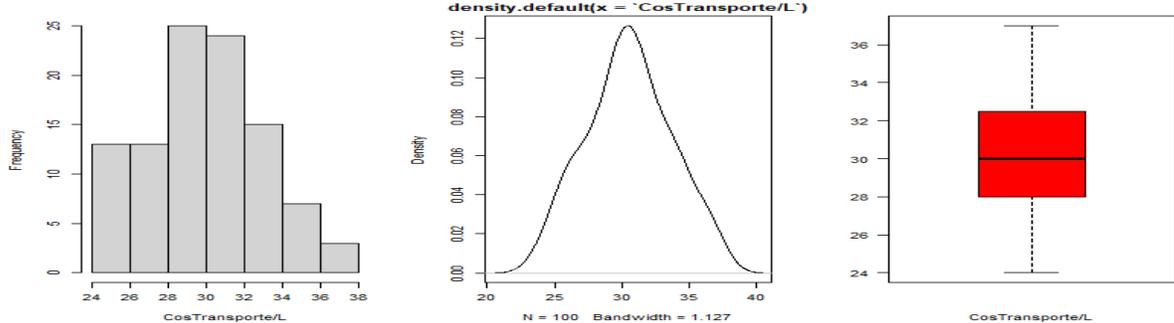


Gráfico 52. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de costos de transporte.

	CosTrans/L
Min.	24
1st Qu	28
Median	30
Mean	30,55
3rd Qu	32,25
Max.	37
Sd	3,14
Var	9,88
CV	10,29

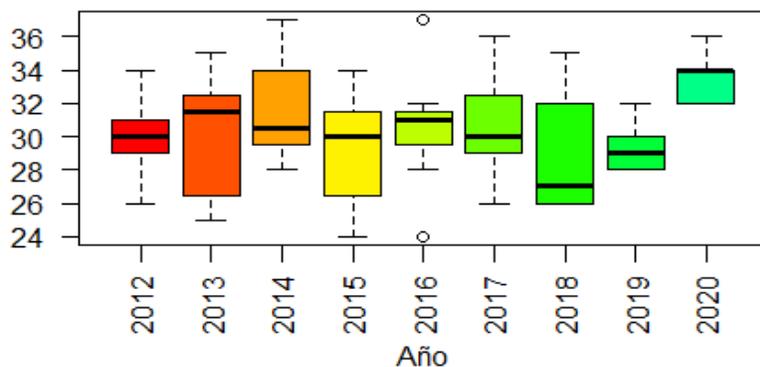


Tabla 33. Resumen de costos de transporte.

- **Costo de maquinaria por litro producido:**

Variable continua que corresponde a la proporción del costo de maquinaria en el mes, con relación a los litros producidos. De acuerdo con la distribución de los datos se sospecha que la variable sigue una distribución normal, como se muestra en histograma y gráfico de densidad (Gráfico 53). Además, el costo promedio es de \$26,42/L y presentan una dispersión de más o menos \$13,87/L. Adicionalmente el 50% de las ocasiones el costo osciló entre \$14,93/L y \$35,10/L. Esta variable se ve afectada por las inversiones que se hagan de maquinaria y su vida útil, lo que significa que para algunos periodos de tiempo no fue necesario la compra de equipos.

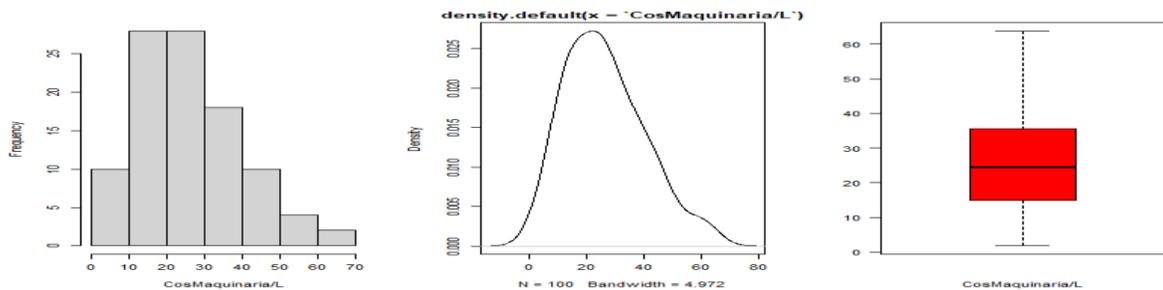


Gráfico 53. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de costos de maquinaria.

	CosMaq/L
Min.	1,78
1st Qu	14,93
Median	24,45
Mean	26,42
3rd Qu	35,10
Max.	63,75
Sd	13,87
Var	192,54
CV	52,51

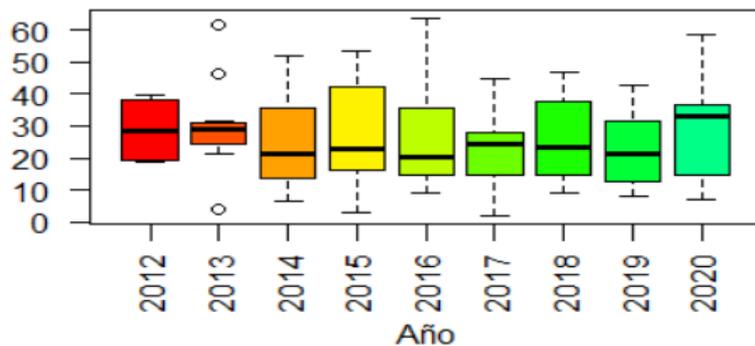


Tabla 34. Resumen de costos de maquinaria.

- **Costo de mantenimiento por litro producido:**

Variable continua que corresponde a los costos asociados al plan de aseo de equipos y rutina de ordeño, medido en unidad monetaria con relación a los litros producidos. La variable sigue una distribución normal, como se muestra en histograma y gráfico de densidad (Gráfico 54). Además, el costo promedio es de \$7,90/L y presentan una dispersión de más o menos \$0,71/L. Adicionalmente el 50% de las ocasiones los costos oscilaron entre \$7,48/L y \$8,39/L, la media del costo de mantenimiento por litro producido a través de los años varió en menor medida, frente a otras variables.

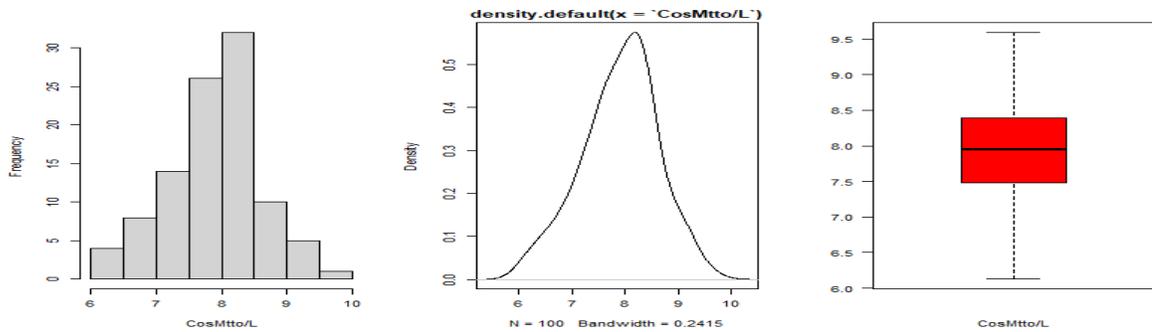


Gráfico 54. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de costos de mantenimiento.

	CosMtto/L
Min.	6,12
1st Qu	7,48
Median	7,95
Mean	7,9
3rd Qu	8,39
Max.	9,59
Sd	0,71
Var	0,51
CV	9,1

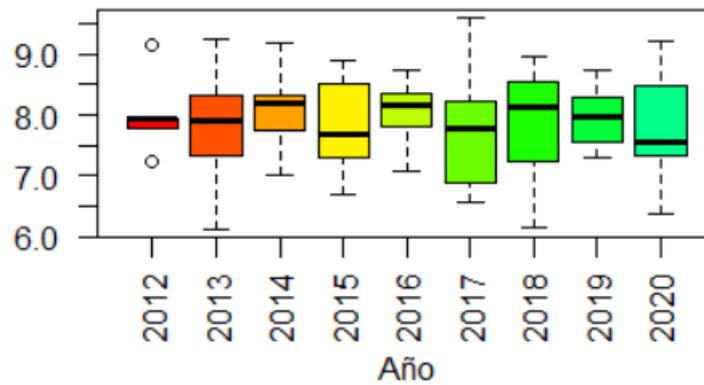


Tabla 35. Resumen de costos de mantenimiento.

- **Costo de inseminación artificial por litro producido:**

Variable continua que corresponde a los costos mensuales asociados a inseminación artificial en vacas en etapa de reproducción con relación a los litros producidos. Se sospecha que la variable sigue una distribución normal, como se muestra en histograma y gráfico de densidad (ver Gráfico 33). Además, el costo promedio es de \$6,50/L y presentan una dispersión de más o menos \$0,77/L. Adicionalmente el 50% de las ocasiones el costo osciló entre \$5,93/L y \$6,92/L, podemos observar que no hay tendencia a través de los años.

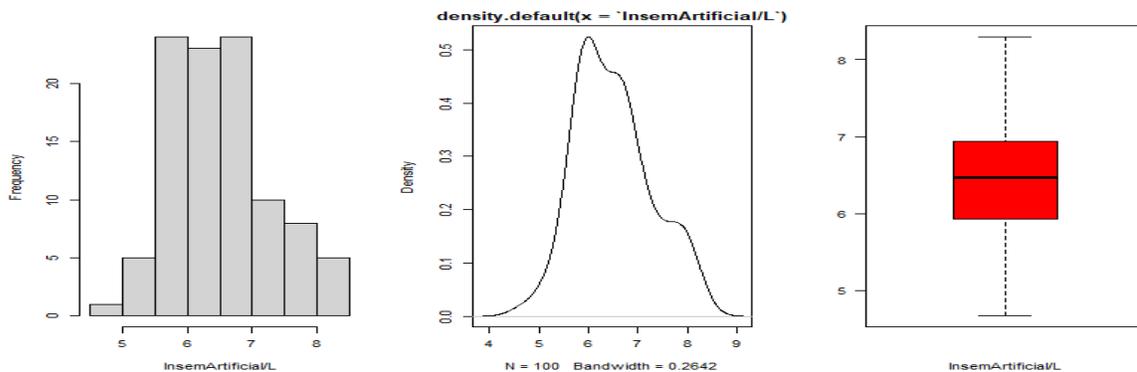


Gráfico 55. Diagrama de densidad, boxplot e histograma de costos de inseminación artificial por litro producido.

	I Art/L
Min.	4,66
1st Qu	5,93
Median	6,47
Mean	6,50
3rd Qu	6,92
Max.	8,29
Sd	0,77
Var	0,59
CV	11,87

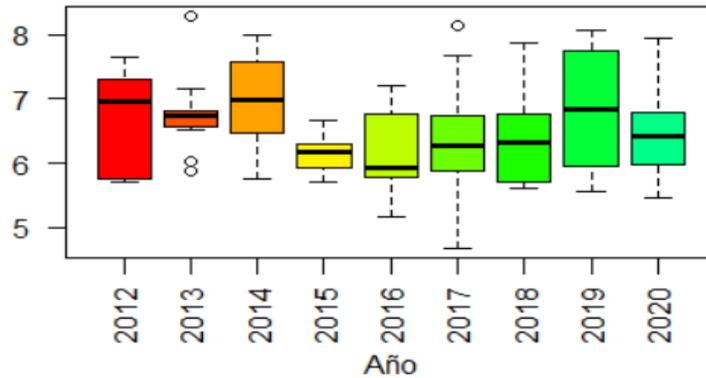


Tabla 36. Resumen de costos de inseminación artificial.

## B. Validación de supuestos.

### • Regresión lineal múltiple aplicada a utilidad después de costos de alimento

Analizamos la variable de respuesta *utilidad después de alimentación/L*, verificamos si sigue una distribución normal, por ello establecimos las siguientes hipótesis:

$$H_0 = \text{Los datos de } \frac{\text{UtilidadAlimentacion}}{L} \text{ siguen una distribución normal}$$

$$H_1 = \text{Los datos de } \frac{\text{UtilidadAlimentacion}}{L} \text{ no siguen una distribución normal}$$

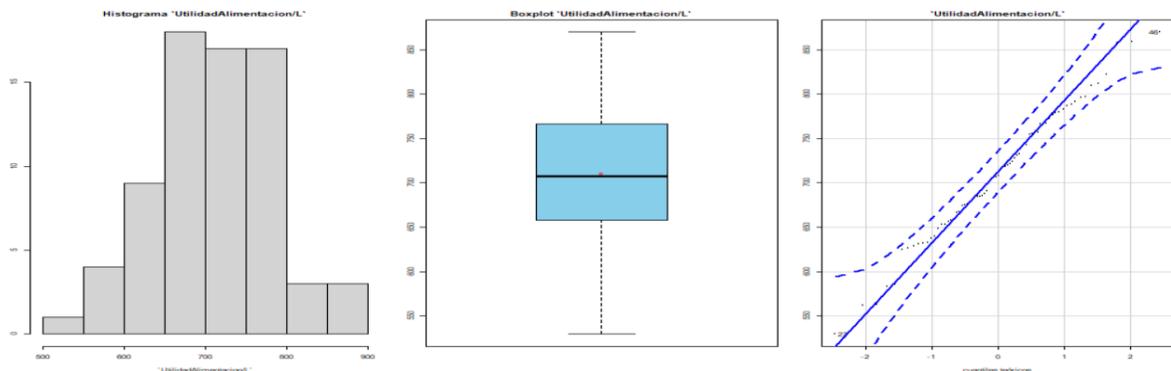


Gráfico 56. Gráfica histograma, caja de bigotes y QQ plot de variable utilidad después de alimentación/L.

Observando la gráfica histograma, caja de bigotes y QQ plot de variable *utilidad después de alimentación/L* (Gráfico 56) la caja de bigotes y el histograma muestran simetría alrededor de la medida de tendencia central (mediana y media) y no se encuentran puntos por fuera de las bandas de confianza por lo cual indica que los datos siguen una distribución normal.

Realizamos tres pruebas analíticas: Anderson-Darling, Cramer-von Mises y Jarque Bera. Con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ , en las pruebas analíticas de normalidad (Tabla

37) el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ , y se concluye que las observaciones de *utilidad después de alimentación/L* siguen una distribución normal.

AD	CVM	JARQUE BERA TEST
$A = 0,191$	$W = 0,025$	$X\text{-squared} = 0,235, df = 2$
$p\text{-value} = 0,893$	$p\text{-value} = 0,90$	$p\text{-value} = 0,88$

Tabla 37. Pruebas de normalidad de utilidad después de alimentación/L.

- Normalidad de los residuos: Se quiere probar que los errores del modelo son variables aleatorias que siguen una distribución normal con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ .

$H_0 =$  Los residuales del modelo siguen una distribución normal  
 $H_1 =$  Los residuales del modelo no siguen una distribución normal

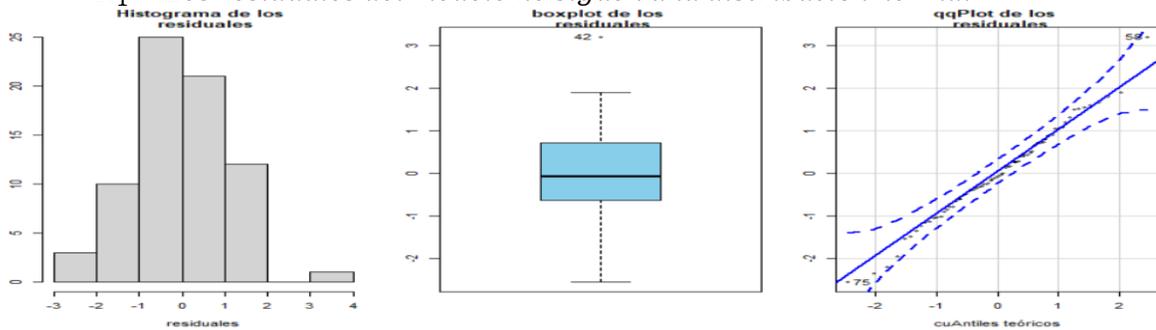


Gráfico 57. Distribución de los residuales de variable: utilidad después de alimentación/L.

Observando la gráfica histograma, caja de bigotes y QQ plot de los residuales de *utilidad después de alimentación/L* (Gráfico 57) la caja de bigotes y el histograma muestran una ligera inclinación a la izquierda y un punto atípico. Sin embargo, no se encuentran puntos por fuera de las bandas de confianza por lo cual se sospecha que los residuales siguen una distribución normal.

Realizamos tres pruebas analíticas: Anderson-Darling, Cramer-von Jarque Bera (Tabla 38) el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ , y se concluye que los residuales del modelo de regresión de *utilidad después de alimentación/L* siguen una distribución normal.

AD	CVM	JARQUE BERA TEST
$A = 0,17$	$W = 0,02$	$X\text{-squared} = 0,39, df = 2$
$p\text{-value} = 0,92$	$p\text{-value} = 0,93$	$p\text{-value} = 0,81$

Tabla 38. Pruebas de normalidad de residuales utilidad después de alimentación/L.

- Varianza constante: Se quiere probar que los residuos de cada tratamiento proceden de una distribución que tiene la misma varianza  $Var[\varepsilon_i]: \sigma^2$ . Es decir, la varianza dentro de los tratamientos es la misma con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ .

$H_0 =$  Los residuos tiene varianza constante (homocedasticidad)  
 $H_1 =$  Los residuos no tiene varianza constante (Heterocedasticidad)

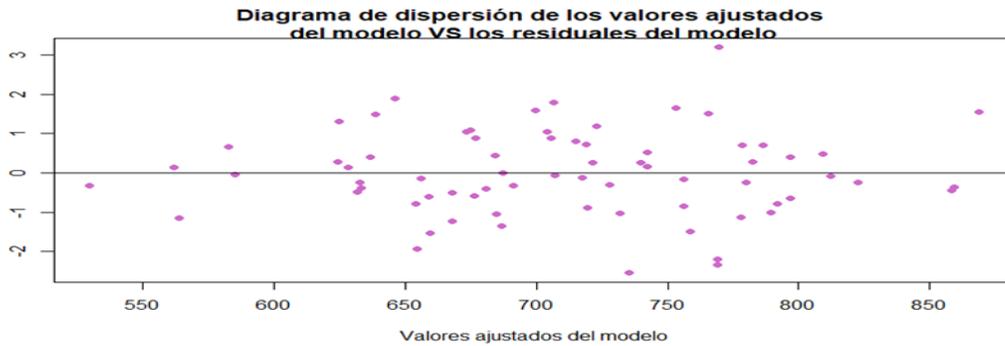


Gráfico 58. Dispersión de los residuales de variable: utilidad después de alimentación/L.

Observando el Gráfico 58 de valores ajustados vs residuales, se obtiene el comportamiento deseado. Los valores están distribuidos uniformemente por arriba y por debajo del 0, lo que se sospecha que los residuos presentan varianza constante.

Con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ , en las pruebas analíticas de homocedasticidad (Tabla 39) studentized Breusch-Pagan test y Non-constant Variance Score Test realizadas a los residuales del modelo, el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ .

<i>studentized Breusch-Pagan test</i>	<i>BP = 2,76, df = 6, p-value = 0,8383</i>
<i>Non-constant Variance Score Test</i>	<i>Chisquare = 1,27, Df = 1, p = 0,25</i>

Tabla 39. Pruebas de varianza de residuales utilidad después de alimentación/L.

- Independencia de los residuales: Se quiere probar que los residuales ( $\varepsilon_i$ ) son independientes entre sí, con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ .

$H_0 =$  Los residuos son independientes entre sí  
 $H_1 =$  Los residuos no son independientes entre sí

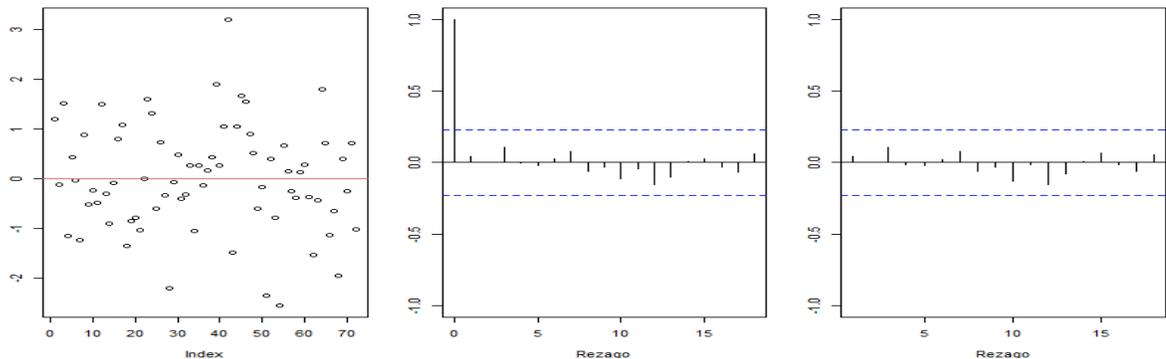


Gráfico 59. Independencia de los residuales de variable: utilidad después de alimentación/L.

Observando el Gráfico 59, se muestra que los puntos están distribuidos alrededor del cero (0) de forma aleatoria, por lo cual hay indicios que no hay dependencia entre los errores o residuales. Como se muestra en la gráfica de ACF (Autocorrelación fija) y PACF (Autocorrelación

parcial) ninguna de las líneas está por fuera de las bandas de confianza lo que no especificaría una posible correlación entre algunos valores.

Con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ , en las pruebas analíticas de independencia (Tabla 40) Durbin – Watson y Breusch-Godfrey realizada a los residuales, el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ , y se puede concluir que los residuales (errores) son independientes entre sí.

Durbin-Watson test	DW = 1,88, p-value = 0,50
Breusch-Godfrey test for serial correlation of order up to 1	LM test = 0,12 df = 1, p-value = 0,72

Tabla 40. Pruebas de independencia de residuales utilidad después de alimentación/L.

### Regresión lineal múltiple aplicada a margen bruto por litro producido

Analizamos la variable de respuesta *margen bruto/L*, verificamos si sigue una distribución normal, por ello establecimos las siguientes hipótesis:

$H_0 =$  Los datos de *MargenBruto/L* siguen una distribución normal

$H_1 =$  Los datos de *MargenBruto/L* no siguen una distribución normal

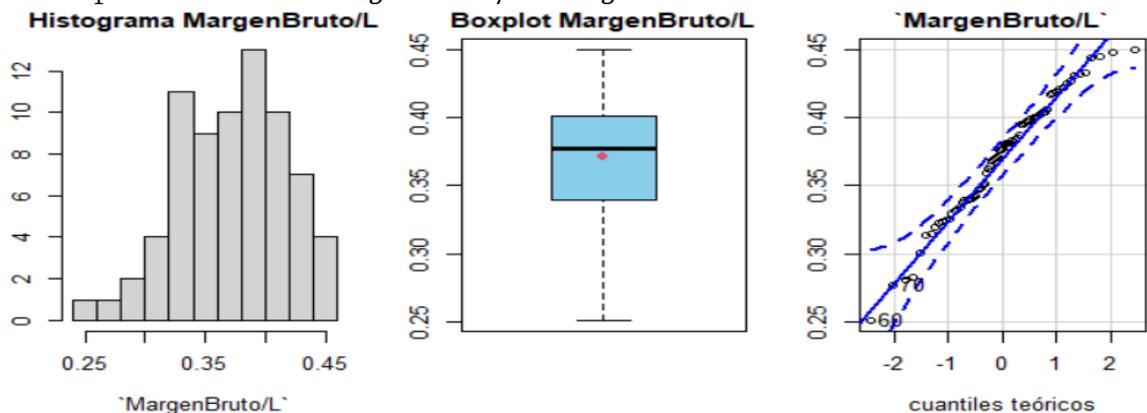


Gráfico 60. Distribución de los datos de variable: margen bruto/L.

Observando la gráfica histograma, caja de bigotes y QQ plot de variable *margen bruto/L* (Gráfico 60) la caja de bigotes y el histograma muestran una ligera inclinación y no se encuentran puntos por fuera de las bandas de confianza por lo cual hay sospechas que los datos siguen una distribución normal.

Realizamos tres pruebas analíticas: Anderson-Darling, Cramer-von Mises Jarque Bera. Con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ , en las pruebas analíticas de normalidad (Tabla 41) el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ , y se concluye que las observaciones de *margen bruto/L* siguen una distribución normal.

AD	CVM	JARQUE BERA TEST
A = 0.41178	W = 0.067026	X-squared = 1.8404, df = 2

p-value = 0.332	p-value = 0.3017	p-value = 0.3984
-----------------	------------------	------------------

Tabla 41. Pruebas de normalidad de margen bruto/L.

- Normalidad de los residuos: Se quiere probar que los errores del modelo son variables aleatorias que siguen una distribución normal con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ .

$H_0 =$  Los residuales del modelo siguen una distribución normal  
 $H_1 =$  Los residuales del modelo no siguen una distribución normal

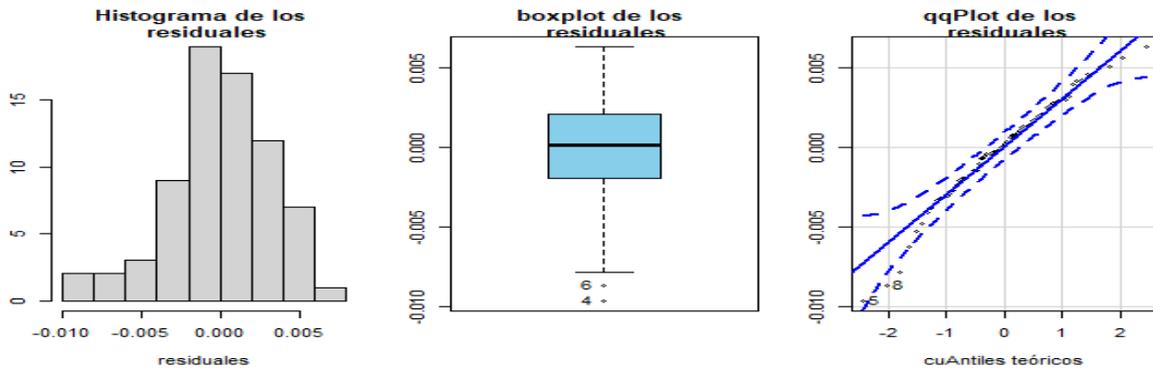


Gráfico 61. Distribución de los residuales de variable: margen bruto/L.

Observando la gráfica histograma, caja de bigotes y QQ plot de los residuales de *margen bruto/L* (Gráfico 61) muestran una ligera inclinación a la derecha en el histograma, dos puntos atípicos en gráfico de caja y bigotes, y dos puntos por fuera de las bandas de confianza por lo cual se sospecha que no siguen una distribución normal. Sin embargo, no se puede realizar esta afirmación sin pruebas analíticas.

Realizamos tres pruebas analíticas: Anderson-Darling, Cramer-von Mises Jarque Bera (Tabla 42. Pruebas de normalidad de residuales margen bruto/L.) el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ , y se concluye que los residuales del modelo de regresión de *margen bruto/L* siguen una distribución normal.

AD	CVM	JARQUE BERA TEST
A = 0,43	W = 0,05	X-squared = 5,51, df = 2
p-value = 0,29	p-value = 0,39	p-value = 0,06

Tabla 42. Pruebas de normalidad de residuales margen bruto/L.

- Varianza constante: Se quiere probar que los residuos de cada tratamiento proceden de una distribución que tiene la misma varianza  $Var[\varepsilon_i] = \sigma^2$ . Es decir, la varianza dentro de los tratamientos es la misma con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ .

$H_0 =$  Los residuos tiene varianza constante (homocedasticidad)  
 $H_1 =$  Los residuos no tiene varianza constante (Heterocedasticidad)

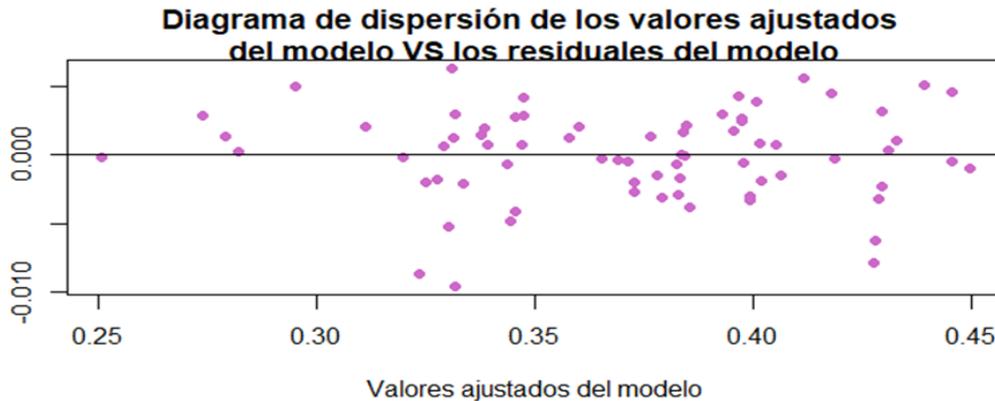


Gráfico 62. Dispersión de los residuales de variable: margen bruto/L.

Observando el Gráfico 62. Dispersión de los residuales de variable: margen bruto/L. de valores ajustados vs residuales, se obtiene el comportamiento deseado los valores están distribuidos uniformemente por arriba y por debajo del 0, lo que se sospecha que los residuos presentan varianza constante.

Con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ , en las pruebas analíticas de homocedasticidad studentized Breusch-Pagan test y Non-constant Variance Score Test realizadas a los residuales del modelo (Tabla 43. Pruebas de varianza de residuales margen bruto/L.), el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ .

<i>studentized Breusch-Pagan test</i>	<i>BP = 16,85, df = 8, p-value = 0,05</i>
<i>Non- constant Variance Score Test</i>	<i>Chisquare = 0,01, Df = 1, p = 0,91</i>

Tabla 43. Pruebas de varianza de residuales margen bruto/L.

- Independencia de los residuales: Se quiere probar que los residuales ( $\varepsilon_i$ ) son independientes entre sí, con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ .

$H_0 =$  Los residuos son independientes entre sí  
 $H_1 =$  Los residuos no son independientes entre sí

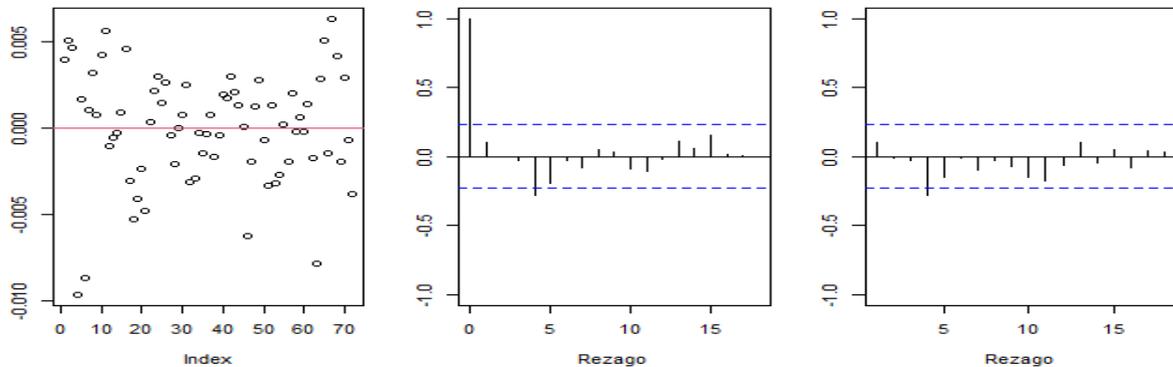


Gráfico 63. Independencia de los residuales de variable: margen bruto/L.

Observando el Gráfico 63, se muestra que los puntos están distribuidos alrededor del cero (0) de forma aleatoria, por lo cual hay indicios que no hay dependencia entre los errores o

residuales. Como se muestra en la gráfica de ACF (Autocorrelación fija) y PACF (Autocorrelación parcial) una de las líneas toca fuera de las bandas de confianza lo que especificaría una posible correlación entre algunos valores. Sin embargo, se requiere una prueba analítica para hacer esta afirmación.

Con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ , en las pruebas analíticas de independencia Durbin – Watson y Breusch-Godfrey realizada a los residuales (Tabla 44), el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ , y se puede concluir que los residuales (errores) son independientes entre sí.

<i>Durbin-Watson test</i>	<i>DW = 1,75, p-value = 0,22</i>
<i>Breusch-Godfrey test for serial correlation of order up to 1</i>	<i>LM test = 0,82, df = 1, p-value = 0,36</i>

Tabla 44. Pruebas de independencia de residuales margen bruto/L.

- **Regresión lineal múltiple aplicada a tasa de rendimiento por litro producido.**

Analizamos la variable de respuesta *tasa rendimiento de capital/L*, verificamos si sigue una distribución normal, por ello establecimos las siguientes hipótesis:

- $H_0 =$  Los datos de *TasaRendCapital/L* siguen una distribución normal  
 $H_1 =$  Los datos de *TasaRendCapital/L* no siguen una distribución normal

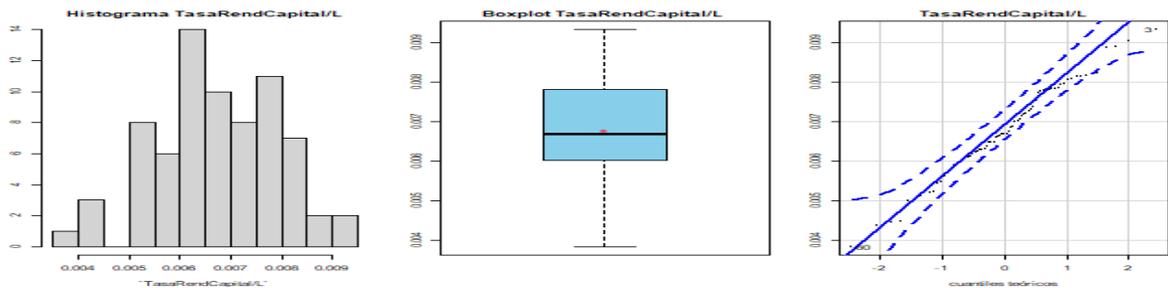


Gráfico 64. Distribución de los datos de variable: tasa rendimiento de capital/L.

Observando la gráfica histograma, caja de bigotes y QQ plot de variable *tasa rendimiento de capital/L* muestra simetría de los datos alrededor de la media, no presentan puntos atípicos y no se encuentran puntos por fuera de las bandas de confianza por lo cual hay sospechas que los datos siguen una distribución normal (Gráfico 64).

Realizamos tres pruebas analíticas: Anderson-Darling, Cramer-von Mises Jarque Bera. Con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ , en las pruebas analíticas de normalidad (Tabla 45) el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ , y se concluye que las observaciones de *tasa rendimiento de capital/L* siguen una distribución normal.

<b>AD</b>	<b>M</b>	<b>CV</b>	<b>JARQUE</b>
			<b>BERA TEST</b>

$A = 0,30$	$W = 0,04$	$X\text{-squared} = 0,74, df = 2$
$p\text{-value} = 0,55$	$p\text{-value} = 0,60$	$p\text{-value} = 0,69$

Tabla 45. Pruebas de normalidad de *tasa rendimiento de capital/L*.

- Normalidad de los residuos: Se quiere probar que los errores del modelo son variables aleatorias que siguen una distribución normal con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ .

$$H_0 = \text{Los residuales del modelo siguen una distribución normal}$$

$$H_1 = \text{Los residuales del modelo no siguen una distribución normal}$$

Observando la gráfica histograma, caja de bigotes y QQ plot de los residuales de *tasa rendimiento de capital/L* (Gráfico 65) muestra dos puntos atípicos en gráfico de caja y bigotes, y dos puntos por fuera de las bandas de confianza por lo cual se sospecha que no siguen una distribución normal, sin embargo no se puede realizar esta afirmación sin pruebas analíticas.

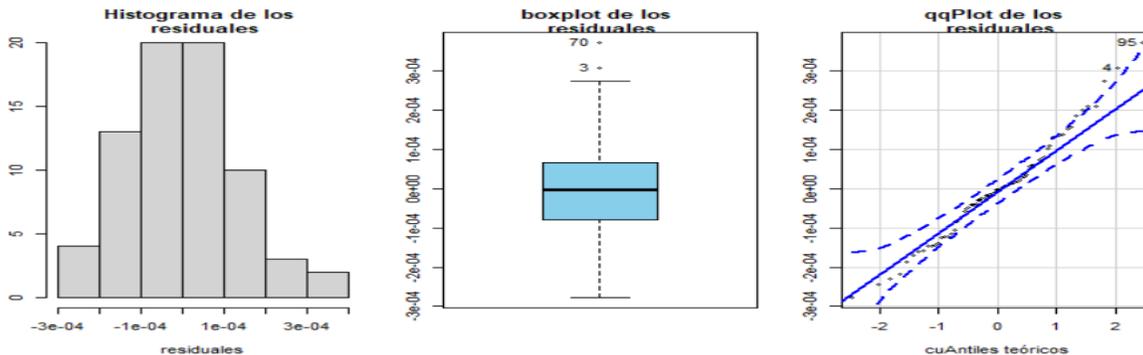


Gráfico 65. Distribución de los residuales de variable: tasa rendimiento de capital/L.

Realizamos tres pruebas analíticas: Anderson-Darling, Cramer-von Mises Jarque Bera (Tabla 46) el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ , y se concluye que los residuales del modelo de regresión de *tasa rendimiento de capital/L* siguen una distribución normal.

<b>AD</b>	<b>CVM</b>	<b>JARQUE BERA TEST</b>
$A = 0,44$	$W = 0,08$	$X\text{-squared} = 1,87, df = 2$
$p\text{-value} = 0,27$	$p\text{-value} = 0,17$	$p\text{-value} = 0,39$

Tabla 46. Pruebas de normalidad de residuales tasa rendimiento de capital/L.

- Varianza constante: Se quiere probar que los residuos de cada tratamiento proceden de una distribución que tiene la misma varianza  $Var[\varepsilon_i]: \sigma^2$ . Es decir, la varianza dentro de los tratamientos es la misma con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0.05$ .

$H_0 =$  Los residuos tiene varianza constante (homocedasticidad)  
 $H_1 =$  Los residuos no tiene varianza constante (Heterocedasticidad)

Observando el Gráfico 66 de valores ajustados vs residuales, se obtiene el comportamiento deseado los valores están distribuidos uniformemente por arriba y por debajo del 0, lo que se sospecha que los residuos presentan varianza constante.

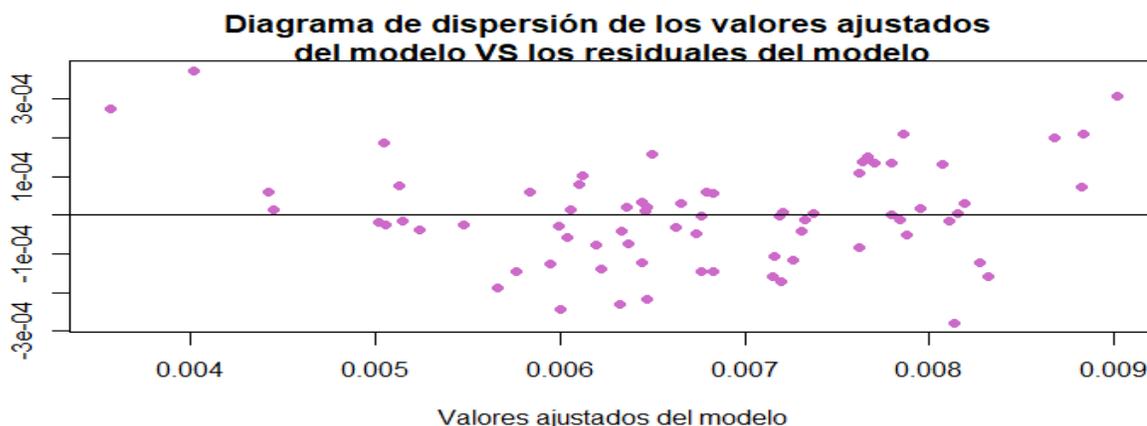


Gráfico 66. Dispersión de los residuales de variable: tasa rendimiento de capital/L.

Con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0.05$ , en las pruebas analíticas de homocedasticidad studentized Breusch-Pagan test y Non-constant Variance Score Test realizadas a los residuales del modelo (Tabla 47), el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ , es decir la varianza es constante dentro de los tratamientos.

<i>studentized Breusch-Pagan test</i>	<i>BP = 7,10, df = 10, p-value = 0,71</i>
<i>Non-constant Variance Score Test</i>	<i>Chisquare = 0,28, Df = 1, p-value = 0,59</i>

Tabla 47. Pruebas de varianza de residuales tasa rendimiento de capital/L.

- Independencia de los residuales: Se quiere probar que los residuales ( $\varepsilon_i$ ) son independientes entre sí, con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ .

$H_0 =$  Los residuos son independientes entre sí  
 $H_1 =$  Los residuos no son independientes entre sí

Observando el Gráfico 67, se muestra que los puntos están distribuidos alrededor del cero (0) de forma aleatoria, por lo cual hay indicios que no hay dependencia entre los errores o residuales. Como se muestra en la gráfica de ACF (Autocorrelación fija) y PACF (Autocorrelación parcial) una de las líneas toca fuera de las bandas de confianza lo que especificaría una posible correlación entre algunos valores. Sin embargo, se requiere una prueba analítica para hacer esta afirmación.

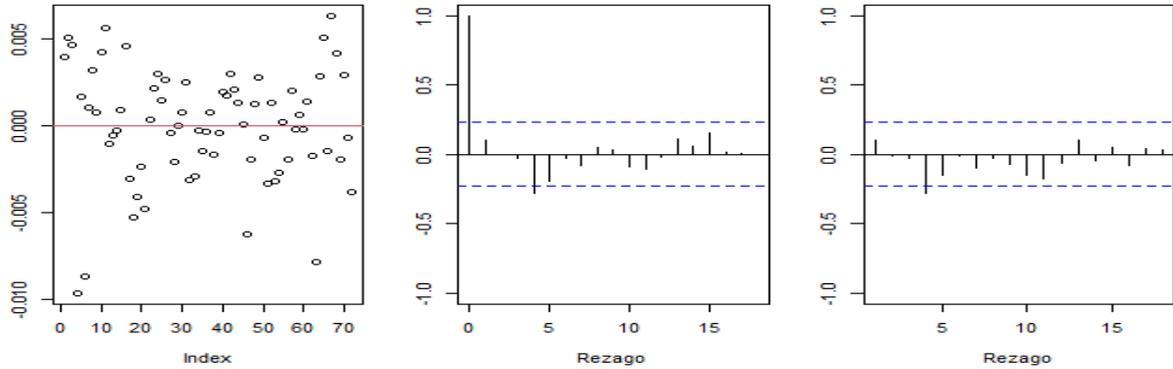


Gráfico 67. Independencia de los residuales de variable: tasa rendimiento de capital/L.

Con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ , en las pruebas analíticas de independencia Durbin – Watson y Breusch-Godfrey realizada a los residuales (ver Tabla 43), el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ , y se puede concluir que los residuales (errores) son independientes entre sí.

<i>Durbin-Watson test</i>	<i>DW = 1,75, p-value = 0.22</i>
<i>Breusch-Godfrey test for serial correlation of order up to 1</i>	<i>LM test = 0,82, df = 1, p-value = 0,36</i>

Tabla 48. Pruebas de independencia de residuales tasa rendimiento de capital/L.

### Regresión lineal múltiple aplicada a los componentes principales de utilidad después de costos de alimento

- Normalidad de los residuos: Se quiere probar que los errores del modelo son variables aleatorias que siguen una distribución normal con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0.05$ .

$$H_0 = \text{Los residuales del modelo siguen una distribución normal}$$

$$H_1 = \text{Los residuales del modelo no siguen una distribución normal}$$

Observando la gráfica histograma, caja de bigotes y QQ plot de los residuales de *utilidad después de alimentación/L* (Gráfico 68) la caja de bigotes muestra simetría en los bigotes. Sin embargo, presenta un punto atípico. En el gráfico de QQ plot se evidencian puntos por fuera de las bandas de confianza por lo cual no se puede afirmar que los datos siguen una distribución normal.

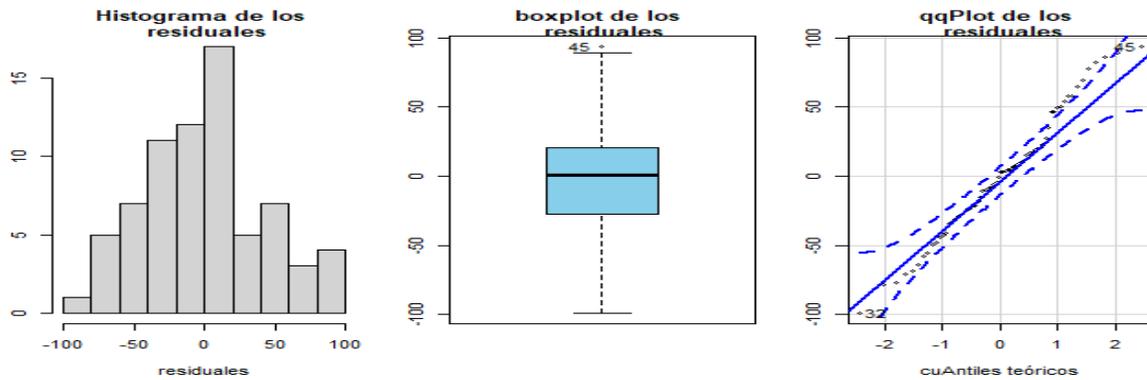


Gráfico 68. Distribución de los residuales del modelo RL- PCA variable: *utilidad después de alimentación/L*.

Realizamos tres pruebas analíticas: Anderson-Darling, Cramer-von Mises Jarque Bera (ver

Tabla 45) el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ , y se concluye que los residuales del modelo de regresión de *utilidad después de alimentación/L* siguen una distribución normal.

AD	CVM	JARQUE BERA TEST
$A = 0,36$	$W = 0,05$	X-squared = 0,62, df = 2
$p\text{-value} = 0,43$	$p\text{-value} = 0,39$	$p\text{-value} = 0,73$

Tabla 49. Pruebas de normalidad de residuales RL- PCA de utilidad después de alimentación/L.

- Varianza constante: Se quiere probar que los residuos de cada tratamiento proceden de una distribución que tiene la misma varianza  $Var[\varepsilon_i]: \sigma^2$ . Es decir, la varianza dentro de los tratamientos es la misma con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 005$ .

$H_0 =$  Los residuos tiene varianza constante (homocedasticidad)  
 $H_1 =$  Los residuos no tiene varianza constante (Heterocedasticidad)

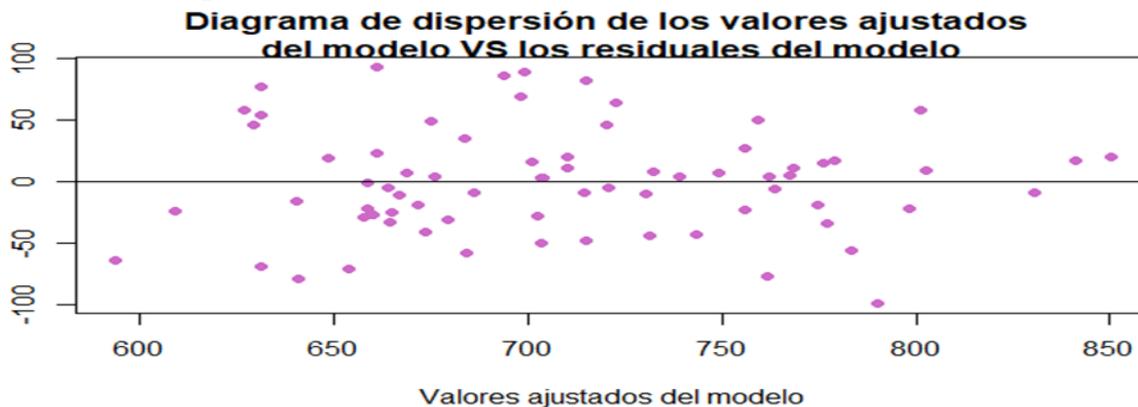


Gráfico 69. Dispersión de los residuales RL- PCA de utilidad después de alimentación/L.

Observando el Gráfico 69 de valores ajustados vs residuales, se obtiene el comportamiento deseado los valores están distribuidos uniformemente por arriba y por debajo del 0, lo que se sospecha que los residuos presentan varianza constante.

Con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ , en las pruebas analíticas de homocedasticidad (ver Tabla 46) studentized Breusch-Pagan test y Non-constant Variance Score Test realizadas a los residuales del modelo, el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ , y se puede concluir que los residuales provienen de una distribución que tiene una varianza constante.

<i>studentized Breusch-Pagan test</i>	<i>BP = 2,94, df = 2, p-value = 0,22</i>
<i>Non-constant Variance Score Test</i>	<i>Chisquare = 1,79, Df = 1, p = 0,17</i>

Tabla 50. Pruebas de varianza de residuales RL- PCA utilidad después de alimentación/L.

- Independencia de los residuales: Se quiere probar que los residuales ( $\varepsilon_i$ ) son independientes entre sí, con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0.05$ .

$$H_0 = \text{Los residuos son independientes entre sí}$$

$$H_1 = \text{Los residuos no son independientes entre sí}$$

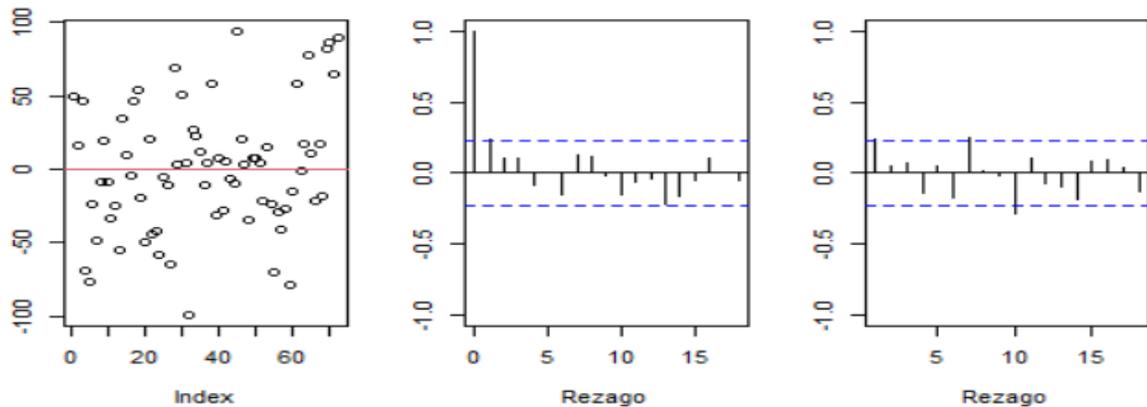


Gráfico 70. Independencia de los residuales RL- PCA de variable: utilidad después de alimentación/L.

Observando el Gráfico 70, se muestra que los puntos están distribuidos alrededor del cero (0) de forma aleatoria, por lo cual hay indicios que no hay dependencia entre los errores o residuales. Como se muestra en la gráfica de ACF (Autocorrelación fija) y PACF (Autocorrelación parcial) dos líneas tocan por fuera de las bandas de confianza lo que especificaría una posible correlación entre algunos valores. Sin embargo, no se podría afirmar sin una prueba analítica de independencia.

Con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ , en las pruebas analíticas de independencia (Tabla 51) Durbin – Watson y Breusch-Godfrey realizada a los residuales, el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ , y se puede concluir que los residuales (errores) son independientes entre sí.

<i>Durbin-Watson test</i>	<i>DW = 1.44,</i> <i>p-value = 0.99</i>
<i>Box-Pierce test</i>	X-squared = 11.62, df = 10, p-value = 0.31

Tabla 51. Pruebas de independencia de residuales RL- PCA de utilidad después de alimentación/L.

### Regresión lineal múltiple aplicada a los componentes principales de margen bruto por litro producido

- Normalidad de los residuos: Se quiere probar que los errores del modelo son variables aleatorias que siguen una distribución normal con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ .

$H_0 =$  Los residuales del modelo siguen una distribución normal  
 $H_1 =$  Los residuales del modelo no siguen una distribución normal

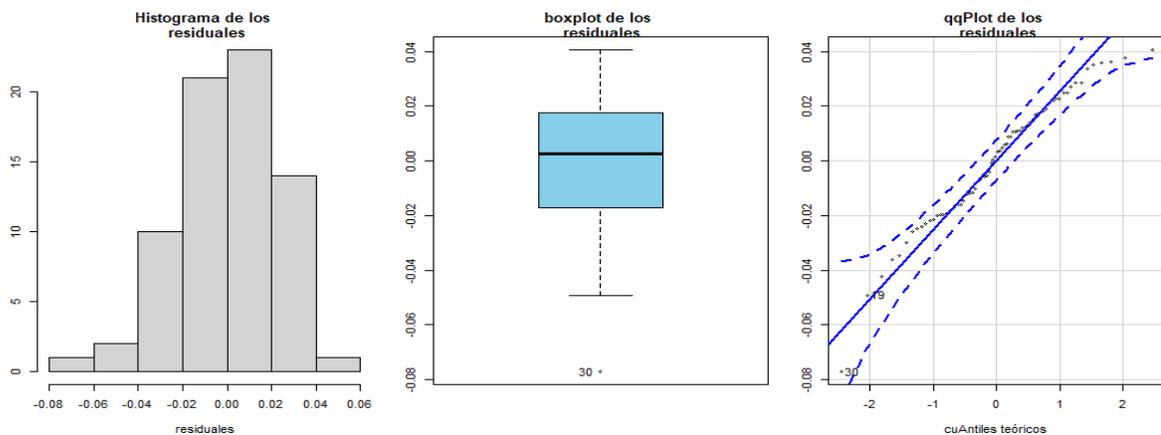


Gráfico 71. Distribución de los residuales RL- PCA de variable: margen bruto/L.

Observando la gráfica histograma, caja de bigotes y QQ plot de los residuales de *margen bruto/L* (Gráfico 71) muestra un punto atípico en gráfico de caja y bigotes. Sin embargo, no tiene puntos por fuera de las bandas de confianza por lo cual se sospecha que siguen una distribución normal.

Realizamos tres pruebas analíticas: Anderson-Darling, Cramer-von Mises Jarque Bera (Tabla 52) el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ , y se concluye que los residuales del modelo de regresión de los componentes principales de *margen bruto/L* siguen una distribución normal.

AD	CVM	JARQUE BERA TEST
A = 0,43	W = 0,06	X-squared = 3,39, df = 2
p-value = 0,28	p-value = 0,30	p-value = 0,18

Tabla 52. Pruebas de normalidad de residuales PCL-RL margen bruto/L.

- Varianza constante: Se quiere probar que los residuos de cada tratamiento proceden de una distribución que tiene la misma varianza  $Var[\varepsilon_i]: \sigma^2$ . Es decir, la varianza dentro de los tratamientos es la misma con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ .

$H_0 =$  Los residuos tiene varianza constante (homocedasticidad)  
 $H_1 =$  Los residuos no tiene varianza constante (Heterocedasticidad)

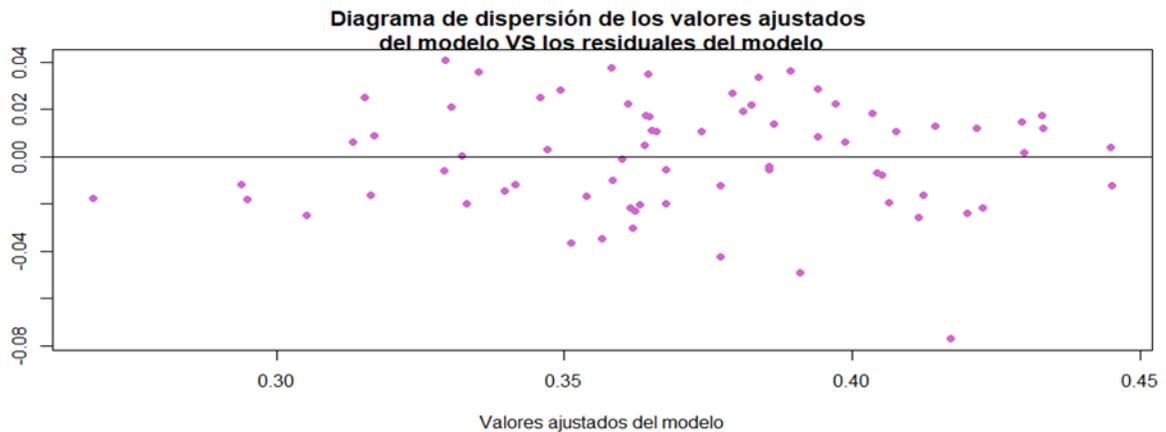


Gráfico 72. Dispersión de los residuales de PCL-RL variable: margen bruto/L.

Observando el Gráfico 72 de valores ajustados vs residuales, se obtiene el comportamiento deseado los valores están distribuidos uniformemente por arriba y por debajo del 0, lo que se sospecha que los residuos presentan varianza constante.

Con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ , en las pruebas analíticas de homocedasticidad (ver Tabla 51) studentized Breusch-Pagan test y Non-constant Variance Score Test realizadas a los residuales del modelo, el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ , y se puede concluir que los residuales (errores) provienen de una distribución que tiene una varianza constante.

studentized Breusch-Pagan test	BP = 3,16, df = 5, p-value = 0,67
Non- constant Variance Score Test	Chisquare = 0,30, Df = 1, p = 0,57

Tabla 53. Pruebas de varianza de residuales PCA- RL margen bruto/L.

- Independencia de los residuales: Se quiere probar que los residuales ( $\varepsilon_i$ ) son independientes entre sí, con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ .

$H_0 =$  Los residuos son independientes entre sí

$H_1 =$  Los residuos no son independientes entre sí

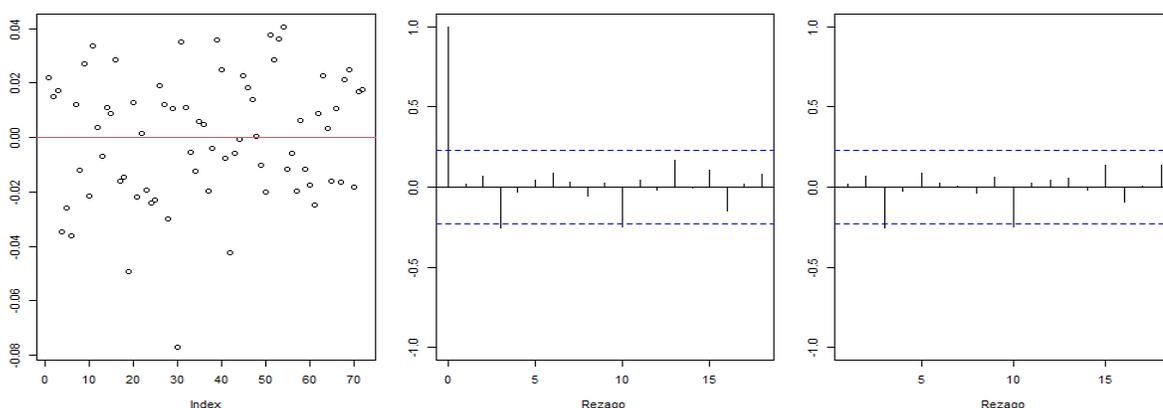


Gráfico 73. Independencia de los residuales RL- PCA de variable: margen bruto/L.

Observando el Gráfico 73, se muestra que los puntos están distribuidos alrededor del cero (0) de forma aleatoria, por lo cual hay indicios que no hay dependencia entre los errores. Como se muestra en la gráfica de ACF (Autocorrelación fija) y PACF (Autocorrelación parcial) dos líneas tocan por fuera de las bandas de confianza lo que especificaría una posible correlación entre algunos valores. Sin embargo, no se podría afirmar sin una prueba analítica de independencia.

Con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ , en las pruebas analíticas de independencia (ver Tabla 52) Durbin – Watson y Breusch-Godfrey realizada a los residuales, el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ , y se puede concluir que los residuales (errores) son independientes entre sí.

Durbin-Watson test	DW = 1.94, p-value = 0.63
Breusch-Godfrey test for serial correlation of order up to 1	LM test = 0.02, df = 1, p-value = 0.86

Tabla 52. Pruebas de independencia de residuales RL- PCA margen bruto/L.

### Regresión lineal múltiple aplicada a los componentes principales de tasa de rendimiento

- Normalidad de los residuos: Se quiere probar que los errores del modelo son variables aleatorias que siguen una distribución normal con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0.05$ .

$H_0 =$  Los residuales del modelo siguen una distribución normal  
 $H_1 =$  Los residuales del modelo no siguen una distribución normal

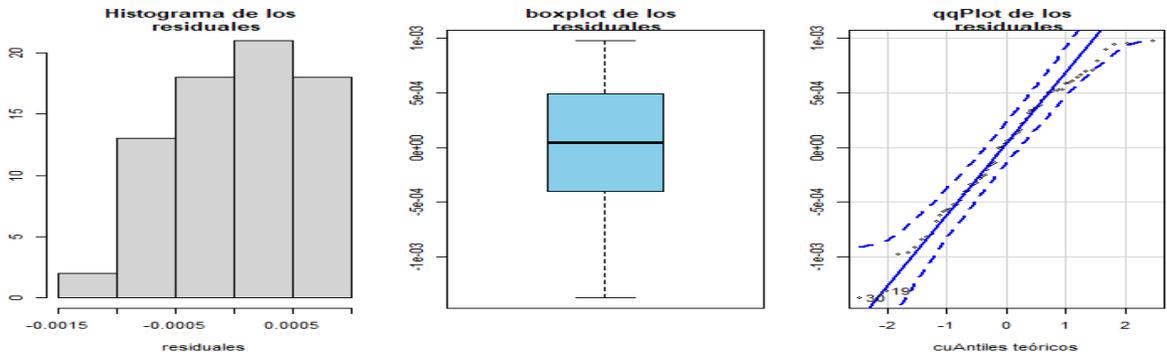


Gráfico 74. Distribución de los residuales RL- PCA de variable: tasa rendimiento de capital/L.

Observando la gráfica histograma, caja de bigotes y QQ plot de los residuales de *margen bruto/L* (Gráfico 74) muestra una ligera inclinación a la derecha y no tiene puntos por fuera de las bandas de confianza por lo cual se sospecha que siguen una distribución normal.

Realizamos tres pruebas analíticas: Anderson-Darling, Cramer-von Mises Jarque Bera (Tabla 54) el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ , y se concluye que los residuales del modelo de regresión de los componentes principales de *tasa rendimiento de capital/L* siguen una distribución normal.

AD	CVM	JARQUE BERA TEST
A=0,40	W = 0,06	X-squared = 2,15, df = 2
p-value = 0,34	p-value = 0,35	p-value =0,34

Tabla 54. Pruebas de normalidad de residuales RL- PCA tasa rendimiento de capital/L.

- Varianza constante: Se quiere probar que los residuos de cada tratamiento proceden de una distribución que tiene la misma varianza  $Var[\varepsilon_i]: \sigma^2$ . Es decir, la varianza dentro de los tratamientos es la misma con un nivel de significancia del  $\alpha= 5\% = 0,05$ .

$H_0 =$  Los residuos tiene varianza constante (homocedasticidad)  
 $H_1 =$  Los residuos no tiene varianza constante (Heterocedasticidad)

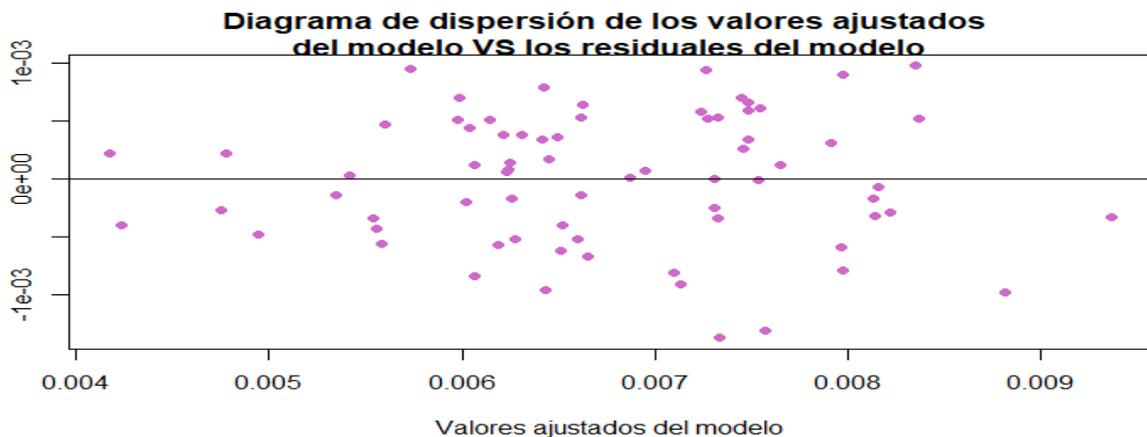


Gráfico 75. Dispersión de los residuales de PCL-RL variable: tasa rendimiento de capital/L.

Observando el Gráfico 75 de valores ajustados vs residuales, se obtiene el comportamiento deseado los valores están distribuidos uniformemente por arriba y por debajo del 0, lo que se sospecha que los residuos presentan varianza constante.

Con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ , en las pruebas analíticas de homocedasticidad (Tabla 55) studentized Breusch-Pagan test y Non-constant Variance Score Test realizadas a los residuales del modelo, el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ , y se puede concluir que los residuales (errores) provienen de una distribución que tiene una varianza constante.

<i>studentized Breusch-Pagan test</i>	<i>BP = 4,43, df = 4, p-value = 0,35</i>
<i>Non- constant Variance Score Test</i>	<i>Chisquare = 2,79, Df = 1, p = 0,09</i>

Tabla 55. Pruebas de varianza de residuales PCA- RL tasa rendimiento de capital/L.

- Independencia de los residuales: Se quiere probar que los residuales ( $\varepsilon_i$ ) son independientes entre sí, con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ .

$$H_0 = \text{Los residuos son independientes entre sí}$$

$$H_1 = \text{Los residuos no son independientes entre sí}$$

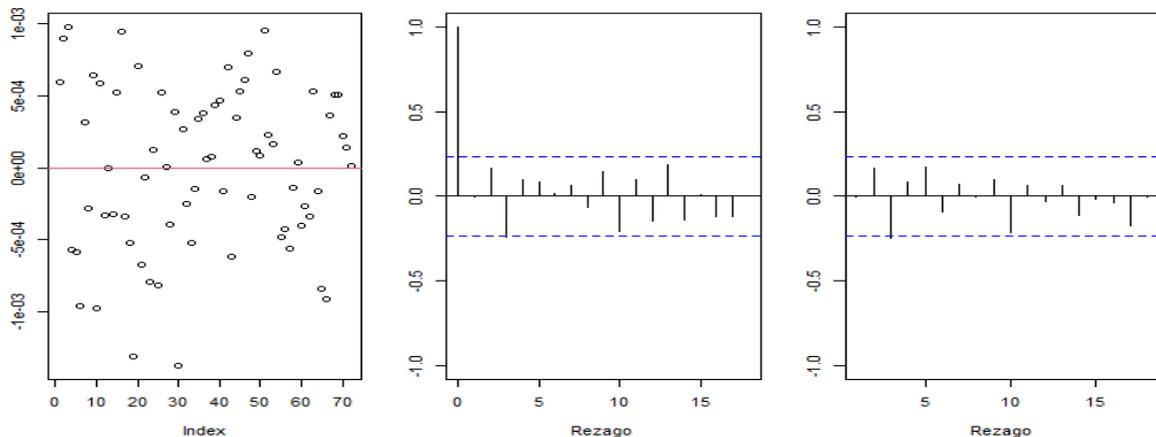


Gráfico 76. Independencia de los residuales RL- PCA de variable: tasa rendimiento de capital/L.

Observando el Gráfico 76, se muestra que los puntos están distribuidos alrededor del cero (0) de forma aleatoria, por lo cual hay indicios que no hay dependencia entre los errores. Como se muestra en la gráfica de ACF (Autocorrelación fija) y PACF (Autocorrelación parcial) una línea toca por fuera de las bandas de confianza lo que especificaría una posible correlación entre algunos valores. Sin embargo, no se podría afirmar sin una prueba analítica de independencia.

Con un nivel de significancia del  $\alpha = 5\% = 0,05$ , en las pruebas analíticas de independencia (Tabla 56) Durbin – Watson y Breusch-Godfrey realizada a los residuales, el p-valor obtenido es mayor que  $\alpha$ , por lo cual no se rechaza  $H_0$ , y se puede concluir que los residuales (errores) son independientes entre sí.

Durbin-Watson test	DW = 1,99, p-value = 0,55
Breusch-Godfrey test for serial correlation of order up to 1	LM test = 0,002, df = 1, p-value = 0,96

Tabla 56. Pruebas de independencia de residuales RL- PCA tasa rendimiento de capital/L.

# **REFERENCIAS**

- Agronegocios. 2019. "CONMEMORACIÓN ANUAL AL SECTOR QUE APORTA 1,6% AL PIB NACIONAL, LOS GANADEROS." <https://www.agronegocios.co/ferias/conmemoracion-anual-al-sector-que-aporta-16-al-pib-nacional-los-ganaderos-2915639>.
- . 2021a. "Durante 2020, Se Recibieron Más de 73.600 Toneladas de Productos Lácteos Importados." <https://www.agronegocios.co/ganaderia/durante-el-ano-pasado-el-pais-importo-mas-de-73600-toneladas-de-productos-lacteos-3132053#:~:text=El sector lácteo colombiano ha,de 61.643 toneladas de 2019>.
- . 2021b. "LOS RETOS DEL SECTOR LÁCTEO POR ELIMINACIÓN DE ARANCELES EN EE.UU Y LA UNIÓN EUROPEA." <https://www.agronegocios.co/ganaderia/los-retos-del-sector-lacteo-por-eliminacion-de-aranceles-en-eeuu-y-la-union-europea-3150740>.
- Agronet. 2020. "Estadísticas." <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx>.
- Ahmed, Haseeb et al. 2020. "Assessing Economic Consequences of Improved Animal Welfare in Swedish Cattle Fattening Operations Using a Stochastic Partial Budgeting Approach." *Livestock Science* 232.
- de Andrade Ferrazza, Rodrigo et al. 2020. "Association between Technical and Economic Performance Indexes and Dairy Farm Profitability." *Revista Brasileira de Zootecnia* 49.
- Apaza Meza, Mario. 2011. *Estados Financieros: Formulación, Análisis e Interpretación Conforme a Las NIIFS y Al PCGE*. Breña.
- Arêdes, Agda et al. 2006. "Análise de Custos Na Pecuária Leiteira : Um Estudo de Caso Das Propriedades Assistidas Pelo Programa de Desenvolvimento Da Pecuária Leiteira Da Região de Viçosa." *Ciencia e Agrotecnologia* 2(Custos e@ gronegócios): 45–68.
- Ariyachandra, Thilini R, and Mark N Frolick. 2008. "Critical Success Factors in Business Performance Management—Striving for Success." *Information systems management* 25(2): 113–20.
- Asoleche. 2017. "Principales Departamentos En Acopio de Leche." <https://asoleche.org/2017/01/16/principales-departamentos-acopio-leche/>.
- Behzadi, Golnar, Michael Justin O'Sullivan, Tava Lennon Olsen, and Abraham Zhang. 2017. "Agribusiness Supply Chain Risk Management: A Review of Quantitative Decision Models." *Omega (United Kingdom)* 79: 21–42.
- Berentsen, P. B.M., and G. W.J. Giesen. 1995. "An Environmental-Economic Model at Farm Level to Analyse Institutional and Technical Change in Dairy Farming." *Agricultural Systems* 49(2): 153–75.
- Bihani, Prateek, and S. T. Patil. 2014. "A Comparative Study of Data Analysis Techniques." *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS)* 3(2): 95–101.
- Borgström, Benedikte. 2005. "Exploring Efficiency and Effectiveness in the Supply Chain: A Conceptual Analysis." In *Proceedings from the 21st IMP Conference*, Netherlands, 1–14.
- Bornia, Antonio Cezar. 2002. "Análise Gerencial de Custos: Aplicação Em Empresas Modernas." *Porto Alegre: Bookman*: 203.
- Bravo, Claudio. 2019. "Productividad Del Sector Agrícola: Una Mirada Global." *Ministerio de Agricultura, ODEPA*: 1–34.
- Brennan, C D. 1998. "Integrating the Healthcare Supply Chain." *Healthcare financial management : journal of the Healthcare Financial Management Association* 52(1): 31–34.
- Bywater, A. C., and O. J Cacho. 1994. "Use of Simulation Models in Research." *Proceedings of the New Zealand society of animal production* 54: :403–412.
- Cabrera, VE, D Solis, and JD Corral. 2008. "O Efeito Das Práticas Tradicionais Na Eficiência de Fazendas Leiteiras Em Wisconsin." *Madison: University of Wisconsin*. <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/55373/2/VC.DS.JC.SAEA.2010.pdf%3E>.
- Cadena, Ximena, Mauricio Reina, and Alejandra Rivera. 2019. "Precio Regulado de La Leche: Ineficiencias, Costos y Alternativas FEDESARROLLO." : 1–91.
- Carro Paz, Roberto, and Daniel González Gómez. 2012. "Productividad y Competitividad."

- Administração de las operaciones. Parte I. Construcción de operaciones de clase mundial.*
- Carvalho, Francisval de Melo, Érika Oliveira Ramos, and Marcos Aurélio Lopes. 2009. "Análise Comparativa Dos Custos de Produção de Duas Propriedades Leiteiras, No Município de Unaí-MG, No Período de 2003 e 2004." *Ciência e Agrotecnologia* 33(spe): 1705–11.
- CEDAIT. 2020. "Análisis Funcional Radiografía Del Sector Lácteo."
- Cherepanov, Gennadii Georgievich, Anatolii Ivanovich Mikhalskii, and Zhanna Anatolievna Novosrltseva. 2019. "Forecasting Bio-Economic Effects in the Milk Production Based on the Potential of Animals for Productivity and Viability." *Advances in Science, Technology and Engineering Systems* 4(5): 110–14.
- Christopher, M. 1992. *Logistics and Supply Chain Management*. London: Pitman Publishing.
- Colín, Juan García. 2008. 3 *Contabilidad de Costos*. ed. Liliana Gutiérrez Peñaloza. Ciudad de Mexico: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Condor, Vicente. 1990. "Los Criterios de Reconocimiento y Presentacion de Ingresos En El Nuevo Plan General de Contabilidad." XX: 687–715.
- Contreras Salluca, Noelia Patricia, and Edith Dámaris Díaz Correa. 2015. "Estructura Financiera y Rentabilidad: Origen, Teorías y Definiciones." *Revista de Investigación Valor Contable* 2(1): 35–44.
- Cristina, Ana et al. 2011. "Economía y Administración." : 401–5.
- da Cunha, Cleyzer Adrian, João Antônio Vilela Medeiros, and Alcido Elenor Wander. 2014. "Utilização de Opções Reais Na Avaliação de Confinamento de Terminação de Bovinos de Corte." *Custos e @gronegocio* 10: 212–27.
- DairyNZ. 2019. "New Zealand Dairy Statistics 2018-19 - DairyNZ." *New Zealand Dairy Statistics 2018-19 is a report that shows historical information up to and including the 2018-19 season*.
- DANE, Departamento Administrativo Nacional De Estadística. 2019. "Estadísticas Por Tema." <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema>.
- FAO. 2008. "La Situación De Los Recursos Zoogenéticos Mundiales Para La Alimentación Y La Agricultura." : 393–416. <http://www.fao.org/docrep/012/a1250s/a1250s17.pdf>.
- . 2016. "REFLEXIONES Y LECCIONES APRENDIDAS EN EL MARCO DEL PROYECTO AGROCADENAS CENTROAMÉRICA." <http://www.fao.org/3/a-i5775s.pdf>.
- FAO, and Animal Production and Health Division. 2011. "Añadiendo Valor a La Diversidad Ganadera: Mercadotecnia Para Promover Las Razas Autóctonas y Los Medios de Subsistencia." <https://www.fao.org/publications/card/es/c/aaf39cde-0b78-54bb-8d7f-c0b4448ec0f4/>.
- FAO, ONUDI, and FIDA. 2008. "Informe Del Foro Mundial Sobre Agroindustrias: Aumento En La Competitividad y Las Repercusiones En El Desarrollo." *Fao*: 55. <https://www.fao.org/3/i0354s/i0354s00.htm>.
- FAOSTAT. 2020. "Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura." <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QL>.
- FAOSTAT, FEDEGAN, DANE, and Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2019. "ASÍ SE PRODUCE LECHE EN COLOMBIA." <http://especiales.datasketch.co/la-via-lactea/posts/asi-se-produce-leche-en-colombia/>.
- Fassio, LH, RP Reis, and LG Geraldo. 2006. "Desempenho Técnico e Atividade Econômica Da Pecuária Leiteira Em Minas Gerais." *iência e Agrotecnologia* 30: 1154–61.
- FEDEGAN. 2018a. "Cifras de Referencia Del Sector Ganadero Colombiano." : 49.
- . 2018b. Hoja De Ruta 2018 - 2022 *Ganadería Colombiana Hoja de Ruta 2018 - 2022*. [http://static.fedegan.org.co/s3.amazonaws.com/publicaciones/Hoja\\_de\\_ruta\\_Fedegan.pdf](http://static.fedegan.org.co/s3.amazonaws.com/publicaciones/Hoja_de_ruta_Fedegan.pdf).
- . 2020. "Estadísticas." <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/estadisticas>.
- Fernández De La Cal, María José, A.R. Mantecón, and A. Moral. 2021. "Factores Determinantes de La Rentabilidad de Las Granjas de Vacuno de Leche En Castilla y León." *Informacion Tecnica Economica Agraria* 117(4): 360–74.
- Fernández de Soto, Jorge Eduardo Medina. 2010. "Modelo Integral de Productividad, Aspectos

- Importantes Para Su Implementación.” *Revista EAN* 69: 110–19.
- Flores, Milagros Cano, Daniel Olivera Gómez, Jazmín Briones, and Guadalupe Perez. 2013. “Rentabilidad y Competitividad En La PYME.” *Ciencia Administrativa* (2): 80–86.
- Galán González, José, and Julio Vecino Gravel. 1997. “Las Fuentes de Rentabilidad de Las Empresas.” *Revista Europea de Direccion y Economia de la Empresa* 6(1): 21–36.
- Gandomi, Amir, and Murtaza Haider. 2015. “Beyond the Hype: Big Data Concepts, Methods, and Analytics.” *International Journal of Information Management* 35(2): 137–44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2014.10.007>.
- Gastal, Edmundo. 1980. *Enfoque de Sistemas Na Programacao Da Pesquisa*. ed. IICA Biblioteca Venezuela.
- Gollin, Douglas. 2010. 4 Handbook of Agricultural Economics *Chapter 73 Agricultural Productivity and Economic Growth*. 1st ed. Elsevier B.V.
- Gómez, Elizabeth Quintero. 2011. “EVOLUCIÓN Y DESARROLLO DEL SECTOR LÁCTEO EN COLOMBIA DESDE LA PERSPECTIVA DEL ESLABÓN PRIMARIO (PRODUCCIÓN).” CORPORACIÓN UNIVERSITARIA LA SALLISTA.
- Guillén, Gonzalo, Mariana Badell, Antonio Espuña, and Luis Puigjaner. 2006. “Simultaneous Optimization of Process Operations and Financial Decisions to Enhance the Integrated Planning/Scheduling of Chemical Supply Chains.” *Computers and Chemical Engineering* 30(3): 421–36.
- Hall, M. B., and M. L. Eastridge. 2014. “INVITED REVIEW: Carbohydrate and Fat: Considerations for Energy and More.” *Professional Animal Scientist* 30(2): 140–49. [http://dx.doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30101-7](http://dx.doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30101-7).
- Hassani, Leila, Mahmoud Daneshvar kakhki, Mahmoud Sabouhi sabouni, and Reza Ghanbari. 2019. “The Optimization of Resilience and Sustainability Using Mathematical Programming Models and Metaheuristic Algorithms.” *Journal of Cleaner Production* 228: 1062–72. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.324>.
- Herrera, Ana Cristina, Carlos Mario Méndez, Oscar David Múnera, and Mario Fernando Cerón. 2011. “Análisis de Costos e Ingresos de Un Hato Lechero Como Herramienta Para La Toma de Decisiones En El Largo Plazo.” *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 24 (3): 401.
- Hobbs J.E., Cooney A., and Fulton M. 2000. “Value Chains in the Agri-Food Sector.” *Department of Agricultural Economics. University of Saskatchewan*.
- Hoffmann, R. 1989. *Administracao Da Empresa Agricola*. 6 ed. Sao Paulo.
- Horngren, Charles T., Walter Jr. Harrison, and M. Suzanne Oliver. 2010. *Contabilidad*. 8va ed. eds. Stanford University and Oliver.
- Hosmalin, Guy. 1966. *Rentabilidad de Las Inversiones*. Editions G. Barcelona, España: Librairie de Médicis.
- Hutchinson, I. A., L. Shaloo, and S. T. Butler. 2013. “Expanding the Dairy Herd in Pasture-Based Systems: The Role of Sexed Semen Use in Virgin Heifers and Lactating Cows.” *Journal of Dairy Science* 96(10): 6742–52. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-6476>.
- ICA. 2020a. “Instituto Colombiano Agropecuario - ICA.”
- ICA, Instituto Colombiano Agropecuario -. 2020b. “Censo Pecuario Año 2020.” <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018.aspx>.
- Instituto de Ciencia Agrícola. 1979. 30 Cultivos Tropicales *Cultivos Tropicales: CT*. Cuba: El Instituto. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362009000100014&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000100014&lng=es&nrm=iso&tlng=es).
- de Jaime Eslava, José. 2016. *La Rentabilidad: Análisis de Costes y Resultados*. ed. ESIC Editorial.
- Joseph, Rhoda C., and Norman A. Johnson. 2013. “Big Data and Transformational Government.” *IT Professional* 15(6): 43–48.
- Juszczyk, Sławomir. 2005. “MILK PRODUCTION PROFITABILITY – MULTIPLE REGRESSION

- ANALYSIS." *EJPAU* 8(4).
- De La Hoz Suárez, Betty, María Alejandra Ferrer, and Aminta De La Hoz Suárez. 2008. "Indicadores de Rentabilidad: Herramientas Para La Toma Decisiones Financieras En Hoteles de Categoría Media Ubicados En Maracaibo." *Revista de Ciencias Sociales* 14(1): 88–109.
- Lambert, Douglas, Sebastian Garcia-Dastugue, and Keely Croxton. 2005. "An Evaluation of Process-Oriented Supply Chain Management Frameworks." *Journal of Business Logistics* 26: 25–51.
- Lima, André Luis Ribeiro. 2006. "Eficiência Produtiva e Econômica Na Atividade Leiteira Em Minas Gerais." : 65. [http://www.livrosgratis.com.br/arquivos\\_livros/cp026978.pdf](http://www.livrosgratis.com.br/arquivos_livros/cp026978.pdf).
- Lobato, André Navarro et al. 2018. "Relação Entre Indicadores Reprodutivos E Econômicos Em Propriedades Leiteiras." *Nutritime Revista Eletrônica* 15(5): 8293–8303.
- Longinidis, Pantelis, and Michael C. Georgiadis. 2011. "Integration of Financial Statement Analysis in the Optimal Design of Supply Chain Networks under Demand Uncertainty." *International Journal of Production Economics* 129(2): 262–76. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.10.018>.
- Lopes, Marcos Aurélio, Glauber G. Santos, and Francisval de Melo Carvalho. 2012. "Comparativo de Indicadores Econômicos Da Atividade Leiteira de Sistemas Intensivos de Produção de Leite No Estado de Minas Gerais." *Revista Ceres* 59(4): 458–65.
- Lopes, P.F, and R.P Reis. 2007. *Custos e Escala de Producao Na Pecuaria Leiteira: Um Estudo Nos Principais Estados Produtores Do Brasil*.
- Lopez, Andres, and Sebastian Vasquez. 2009. "Costos de Producción Lechera En Colombia, Problemas y Oportunidades." *Universidad Eafit*. 1–50.
- Massière, C.R.L. 2009. "Indicadores Da Eficiência Produtiva, Reprodutiva e Econômica de Sistemas Intensivos de Produção de Leite Do Sul de Minas Gerais." : 6–12.
- McCall, D. G., and D. A. Clark. 1999. "Optimized Dairy Grazing Systems in the Northeast United States and New Zealand. II. System Analysis." *Journal of Dairy Science* 82(8): 1808–16. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75411-1](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75411-1).
- McCarthy, S. et al. 2007. "Economic Comparison of Divergent Strains of Holstein-Friesian Cows in Various Pasture-Based Production Systems." *Journal of Dairy Science* 90(3): 1493–1505. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(07\)71635-1](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(07)71635-1).
- McDonald, R., L. Shalloo, K. M. Pierce, and B. Horan. 2013. "Evaluating Expansion Strategies for Startup European Union Dairy Farm Businesses." *Journal of Dairy Science* 96(6): 4059–69. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-6365>.
- Méndez, Julia Victoria, and Flor Nohemy Tejada Santos. 2011. "DISEÑO DE UN SISTEMA DE COSTOS POR PROCESO EN EL CÁLCULO DE LOS COSTOS UNITARIOS TOTALES PARA LA DETERMINACION EFICAZ DE LOS INGRESOS EN LAS PEQUEÑAS EMPRESAS FABRICANTES DE PRODUCTOS LÁCTEOS EN EL MUNICIPIO DE SANTA ANA." UNIVERSIDAD FRANCISCO GAVIDIA.
- Milham, N. 1992. "Financial Structure and Risk Management of Woolgrowing Farms: A Dynamic Stochastic Budgeting Approach." *MEc dissertation University of New England, Armidale*.
- Ministerio de Agricultura. 2020. "Colombia Avanza En La Formulación Del Plan de Ordenamiento Productivo de La Cadena Láctea En Colombia."
- Ministerio de Industria y Comercio. 2014. "Plan Estratégico Del Sector Lácteo Colombiano."
- Molina, Rolando Saéz. 2010. "Contabilidad de Costos." : 1–81.
- Morales Vallecilla, F., and S. Ortiz Grisales. 2018. "Productividad y Eficiencia de Ganaderías Lecheras Especializadas En El Valle Del Cauca (Colombia)." *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia* 65(3): 252–68.
- Morillo, Marisela. 2001. "Rentabilidad Financiera y Reducción de Costos." *Actualidad Contable Faces* 4(4): 35–48.
- Mundlak, Yair. 2005. "Economic Growth: Lessons from Two Centuries of American Agriculture."

- Journal of Economic Literature* 43(4): 989–1024.
- Noronha, J.F. 2001. “Análise Da Rentabilidade Da Atividade Leiteira No Estado de Goiás.” *Goiania UFG*: 106.
- Oliveira, A. 2007. “Identificação e Quantificação de Indicadores de Referência Em Sistemas de Produção de Leite.” *Revista Brasileira de Zootecnia* v. 36 n. 2: 507–16.
- Pardey, Philip G., Julian M. Alston, and Vernon W. Ruttan. 2010. 2 Handbook of the Economics of Innovation *The Economics of Innovation and Technical Change in Agriculture*. 1st ed. Elsevier B.V. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-7218\(10\)02006-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-7218(10)02006-X).
- Pereira, M. N., J. C. Resende, R. A.N. Pereira, and H. C.M. Silva. 2016. “Indicadores de Desempenho de Fazendas Leiteiras de Minas Gerais.” *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 68(4): 1033–42.
- Porter, Michael. 2008. “Las Cinco Fuerzas Competitivas Que Le Dan Forma a La Estrategia.” *Harvard Business Review* 86 (1): 58–77.
- Rehman, Muhammad Habib Ur, Victor Chang, Aisha Batool, and Teh Ying Wah. 2016. “Big Data Reduction Framework for Value Creation in Sustainable Enterprises.” *International Journal of Information Management* 36(6): 917–28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2016.05.013>.
- Resende, J. C. et al. 2010. “Determinantes de Lucratividade Em Fazendas Leiteiras de Minas Gerais.” *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 68(4): 1053–61.
- Richardson, James W, and Clair J Nixon. 1986. Texas Agricultural Experiment Station *Description of FLIPSIM V: A General Firm Level Policy Simulation Model*.
- Ritchie, Bob, Clare Brindley, Bob Ritchie, and Clare Brindley. 2006. “The Information-Risk Conundrum.”
- Rotz, C. Alan, Dennis R. Buckmaster, David R. Mertens, and J. Roy Black. 1989. “DAFOSYM: A Dairy Forage System Model for Evaluating Alternatives in Forage Conservation.” *Journal of Dairy Science* 72(11): 3050–63. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(89\)79458-3](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79458-3).
- Ruelle, E., L. Delaby, M. Wallace, and L. Shalloo. 2018. “Using Models to Establish the Financially Optimum Strategy for Irish Dairy Farms.” *Journal of Dairy Science* 101(1): 614–23. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2017-12948>.
- Sá Filho, Agnaldo Vieira de, Marcos Aurélio Lopes, and Milton Ghedini Cardoso. 2018. “Análise Da Rentabilidade De Propriedades Leiteiras Da Agricultura Familiar No Município De Passa Vinte (Mg): Um Estudo Multicasos.” *Nucleus Animalium* 10(1): 1–18.
- Schils, R. L.M. et al. 2007. “DairyWise, a Wholes-Farm Dairy Model.” *Journal of Dairy Science* 90(11): 5334–46. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2006-842>.
- Seramim, Ronaldo Jose, and Claudio Antonio Rojo. 2016. “Gestão Dos Custos de Produção Da Atividade Leiteira Na Agricultura Familiar.” *Revista Gestão & Tecnologia* 16(3): 244.
- Shalloo, L. et al. 2004. “Comparison of a Pasture-Based System of Milk Production on a High Rainfall, Heavy-Clay Soil with That on a Lower Rainfall, Free-Draining Soil.” *Grass and Forage Science* 59(2): 157–68.
- Shapiro, Jeremy F. 2004. “Challenges of Strategic Supply Chain Planning and Modeling.” *Computers and Chemical Engineering* 28(6–7): 855–61.
- Da Silva, Carlos A. et al. 2013. 24 Glass Physics and Chemistry *Agroindustrias Para El Desarrollo*.
- Simanca, Mónica M., Luz A. Montoya, and Cesar A. Bernal. 2016. “Gestión Del Conocimiento En Cadenas Productivas. El Caso de La Cadena Láctea En Colombia.” *Informacion Tecnológica* 27(3): 93–106.
- Stock, L.A. 2000. “Determinants of Efficiency for Brazilian Dairy Farms.” Oklahoma State University.
- Swinton, Scott, and J. Black. 2000. “Modeling of Agricultural Systems.” *Staff Papers* (00).
- Tang, Christopher S. 2006. “Perspectives in Supply Chain Risk Management.” *International Journal of Production Economics* 103(2): 451–88.
- Torres, Jairo Orozco. 2018. “LA CONTABILIDAD DE COSTOS.” *Contribuciones a la Economía* 1(mayo).

- TUPY, O. 2000. *Método Para Controlar e Analisar Os Custos de Produção Do Leite de São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste.*
- Ugalde Herrera, Maria del Pilar. 2019. "Ingresos Ordinarios, Costos Por Prestamos y Su Contabilidad." : 16. <http://repositorio.usam.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/11506/957/LEC TEC 0002 2019.pdf?sequence=1>.
- UPRA, and Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural. 2020. *Andi Análisis Situacional Cadena Láctea Colombiana.* [http://www.andi.com.co/Uploads/20200430\\_DT\\_AnalSitLecheLarga\\_AndreaGonzalez.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/20200430_DT_AnalSitLecheLarga_AndreaGonzalez.pdf).
- Vaca, Sebastian. 2015. "ANÁLISIS DE LOS RIESGOS FINANCIEROS Y SU INCIDENCIA EN LA RENTABILIDAD DEL SECTOR LÁCTEO, DE LA PARROQUIA SAN JOSÉ DE ALLURIQUÍN, CANTÓN SANTO DOMINGO." UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL.
- Villettaz Robichaud, M. et al. 2019. "Associations between On-Farm Animal Welfare Indicators and Productivity and Profitability on Canadian Dairies: I. On Freestall Farms." *Journal of Dairy Science* 102(5): 4341–51.
- Waller, Matthew A., and Stanley E. Fawcett. 2013. "Data Science, Predictive Analytics, and Big Data: A Revolution That Will Transform Supply Chain Design and Management." *Journal of Business Logistics* 34(2): 77–84.
- Yamaguchi, L.C, P do C Martins, and A Carneiro. 2003. "Eficiencia Tecnica e Economica Da Atividade Leiteira: Regiao Sul Do Brasil in: Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural."