

**Viabilidad financiera de una inversión en un sistema de riego por pivote central para aumentar la
producción de un proyecto ganadero de 50 hectáreas**

Samuel Alejandro Romero Velandia

Juan José Cuenca Gonzalez

**Administración de empresas
Colegio de Estudios Superiores de Administración
Bogotá
2025**

**Viabilidad financiera de una inversión en un sistema de riego por pivote central para aumentar la
producción de un proyecto ganadero de 50 hectáreas**

Samuel Alejandro Romero Velandia

Juan José Cuenca Gonzalez

Director: Jaime Felipe Dávila

**Administración de empresas
Colegio de Estudios Superiores de Administración
Bogotá
2025**

Resumen

La investigación evalúa la viabilidad financiera de implementar un sistema de riego por pivote central en una unidad ganadera de 50 hectáreas ubicada en el departamento del Meta, Colombia. Parte del diagnóstico de una ganadería extensiva con baja productividad, afectada por la estacionalidad climática y la escasa tecnificación. En este contexto, el riego tecnificado se presenta como una alternativa para estabilizar la producción forrajera, mejorar la eficiencia alimentaria y aumentar la rentabilidad del sistema de ceba bovina.

La metodología tiene un enfoque mixto, combinando entrevistas semiestructuradas con ganaderos, técnicos y analistas financieros, con un análisis cuantitativo de flujos de caja descontados (DCF). A partir de esta integración se calcularon indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC), además de realizar pruebas de sensibilidad frente a variables críticas como precios del ganado, peso final y mortalidad.

Los resultados muestran que el uso del pivote central permite alcanzar una productividad forrajera de 50 toneladas de materia seca por hectárea al año, una carga animal de 10 unidades ganaderas por hectárea y una ganancia diaria de peso (ADG) de 1 kg por animal, duplicando los rendimientos del sistema tradicional sin riego. Con una inversión inicial (CAPEX) de \$1.250 millones y costos operativos (OPEX) anuales de \$445,8 millones, el modelo genera un VAN positivo de \$4.524 millones y una TIR del 34,36 %, superando ampliamente el WACC de 15,53 %, lo que confirma su viabilidad económica.

El análisis de sensibilidad identificó la mortalidad animal y el peso final como las variables de mayor impacto, aunque el proyecto mantiene rentabilidad incluso ante caídas moderadas en los precios del ganado. En conclusión, el riego por pivote central representa una estrategia rentable, sostenible y técnicamente viable para tecnificar la ganadería del Meta, mejorar la productividad y reducir la vulnerabilidad climática, apoyada por políticas de crédito, capacitación y fomento a la innovación agropecuaria.

Tabla de contenido

Resumen	3
Índice de tablas	6
Índice de figuras	6
1. Introducción.....	7
1.1 Planteamiento del problema y Justificación de la investigación	9
1.2 Pregunta de Investigación	11
1.3 Objetivos	11
<i>1.3.1 Objetivo general</i>	11
<i>1.3.2 Objetivos específicos</i>	11
2. Revisión de la literatura.....	12
2.1 Sistema de riego por pivote de central	12
2.2 Productividad Ganadera	14
2.3 Productividad Forrajera.....	16
2.4 Precio del Ganado y Curva por Rangos de Peso	17
2.5 Estructura de Inversión y Costos Operativos	21
2.6 Riesgos y Análisis de Sensibilidad.....	23
2.7 Hipótesis.....	25
3. Metodología de la Investigación	27
3.1 Tipo y Diseño de la Investigación.....	27
3.2 Población y Muestra.....	28
3.3 Instrumento de Recolección de Información.....	29

	5
3.3.1 Entrevistas Semiestructuradas:	29
3.3.2 Revisión Documental:	29
3.3.3 Modelación Financiera:	29
3.4 Procedimientos	29
3.4.1 Diagnóstico y Delimitación del Proyecto:	29
3.4.2 Recolección y Sistematización de Información Primaria:	30
3.4.3 Revisión Documental y Parametrización:	30
3.4.4 Construcción de la Modelación Financiera.....	30
4. Análisis de los Resultados	31
4.1 Resultados Cualitativos	31
4.2 Resultados Cuantitativos	32
4.2.1 Precios de Referencia y Proyección.....	33
4.2.2 Resultados Técnicos y Productivos	34
4.2.3 Resultados Financieros Base	35
4.2.4 Análisis de Sensibilidades	37
4.2.5 Escenario Comparativo.....	40
4.2.6 Discusión de los resultados	42
5. Conclusiones	47
5.1 Recomendaciones	49
5.2 Referencias	51

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Percepciones de los ganaderos - productividad y estabilidad del riego por pivote central</i>	31
Tabla 2 <i>Percepciones de los ganaderos - productividad y estabilidad del riego por pivote central</i>	32
Tabla 3 Supuestos	34
Tabla 4 Indicadores y tasas	35
Tabla 5 Sensibilidad mortalidad.....	37
Tabla 6 Sensibilidad precio de venta.....	38
Tabla 7 Sensibilidad precio de compra	38
Tabla 8 Sensibilidad precio de venta.....	39
Tabla 9 Resumen comparativo y jerarquización	40
Tabla 10 Comparativo sistema tradicional vs Sistema tecnificado.....	41

Índice de figuras

Figura 1 <i>Gráfica de la hipótesis</i>	26
Figure 2 Proyección precio por kilogramo.....	33

1. Introducción

La ganadería es una de las actividades económicas más relevantes del sector agropecuario colombiano, representando aproximadamente el 26 % del PIB agropecuario nacional y generando más de 910.000 empleos directos en todo el país (Gnecco Morón y Zuleta, 2023, p.5). Este sector, cumple un papel estratégico en diversas temáticas a nivel global, tales como: La seguridad alimentaria y el desarrollo rural.

Por otra parte, los esquemas de producción ganadera se dividen principalmente en cuatro etapas: cría, levante, ceba y producción lechera. Cada una representa una etapa estratégica dentro de la cadena de valor, y muchos ganaderos suelen especializarse exclusivamente en una de ellas según sus recursos, ubicación y objetivos de producción.

Principalmente existe la cría, sistema que se enfoca en la reproducción de ganado, siendo su propósito principal la producción de terneros saludables a partir del manejo de vacas reproductoras. Este modelo exige una inversión sostenida en sanidad, genética y reproducción, ya que, los ingresos dependen de la cantidad y calidad de los animales destetados (FEDEGÁN, 2022, p.2).

Por su parte, el levante se encarga del desarrollo físico de los terneros después del destete. Aquí, el ganadero compra terneros jóvenes y los prepara, mediante una alimentación adecuada y un manejo sanitario riguroso, para su etapa posterior de engorde. Esta fase es clave para el desarrollo del animal, y un buen manejo durante este periodo permite optimizar los resultados en la ceba (Agrosavia, 2021,p.4).

En cuanto a la ceba, este modelo de negocio consiste en engordar bovinos hasta que alcanzan el peso ideal de sacrificio. Es uno de los sistemas más frecuentes en el país, especialmente bajo esquemas extensivos. Sin embargo, su productividad es limitada en comparación con modelos intensivos de otros países, debido a la baja tecnificación y a la dependencia de las condiciones climáticas (Fundación Horizonte Verde y TNC, 2020,p.3).

Finalmente, la lechería se especializa como su nombre lo indica en la producción continua de leche, ya sea mediante razas puramente lecheras o bajo esquemas de doble propósito, que combinan leche con carne. Este

modelo requiere un manejo técnico constante, infraestructura de ordeño y estrategias de alimentación balanceada. A pesar de los bajos niveles de productividad promedio, existen amplias oportunidades de mejora mediante la tecnificación progresiva (FAO, 2021,p.1).

Ahora bien, es importante resaltar que en Colombia el departamento del Meta se ha consolidado por ser uno de los principales referentes en el desarrollo de esta actividad. Puesto que, tiene una de las mayores concentraciones de hatos bovinos del país, con más de 2,3 millones de animales distribuidos en más de 20.000 unidades productivas, enfocadas principalmente en la producción de carne (FEDEGÁN, 2024, p.1).

Adicionalmente, el sistema de ceba en pastoreo extensivo es el más frecuente en el Meta, aprovechando su disponibilidad de tierras amplias y su vocación agropecuaria. No obstante, este sistema presenta una baja eficiencia productiva, con rendimientos que oscilan entre 120 y 150 kg de carne por hectárea al año (FEDEGÁN, 2022) muy por debajo de los potenciales alcanzables con métodos tecnificados. Se debe resaltar, que esta baja productividad es consecuencia de diversos factores, entre ellos la escasa tecnificación y la fuerte dependencia de las condiciones climáticas, particularmente en temporadas de sequía, que son frecuentes en las llanuras colombianas. Ahora bien, Durante estas épocas, el forraje disponible para el ganado disminuye drásticamente, generando estrés y pérdidas de peso significativas en los animales. Esto no solo afecta la productividad en términos de ganancia de peso por kilogramo día, sino que también incrementa los costos operativos al aumentar la dependencia de suplementos alimenticios, encareciendo el proceso de producción y reduciendo los márgenes de rentabilidad (Pacheco Pérez et al.,2019, p.7).

Ante este escenario, la incorporación de tecnologías como el sistema de riego por pivote central aparece como una solución eficiente. Esta técnica permite garantizar una producción estable de pasturas durante todo el año, aumentando la disponibilidad de alimento, permitiendo sostener mayores cargas de animales y optimizando el uso del agua. Además, su diseño resulta compatible con superficies pequeñas o medianas, lo que facilita su implementación en fincas con espacios más reducidos (Ouazaa et al., s.f.; Agrosavia, 2021).

Esta investigación, tiene como propósito analizar el impacto productivo de incorporar un sistema de riego por pivote central en una unidad ganadera de 50 hectáreas. Para ello, se aplicó una metodología de enfoque mixto que combina entrevistas semiestructuradas con actores clave del sistema productivo, revisión documental y modelación financiera con escenarios proyectados a 10 años. El propósito es evaluar si la adopción de tecnologías como el pivote central constituye una solución eficaz frente a los desafíos de productividad y rentabilidad que enfrenta la ganadería del Meta, ofreciendo evidencia concreta para la toma de decisiones estratégicas en el sector.

1.1 Planteamiento del problema y Justificación de la investigación

El sector ganadero en Colombia enfrenta serios retos relacionados con la baja productividad, el bajo nivel de tecnificación y la limitada rentabilidad, en comparación con otras economías ganaderas de América y el mundo.

Colombia tiene una de las productividades más bajas de la región, con un promedio de 120 a 150 kg de carne producida por hectárea al año, mientras países como Uruguay, Brasil y Argentina han superado las 400-600 kg/ha/año gracias al uso de tecnologías como el manejo rotacional, sistemas de riego tecnificado y suplementación estratégica (Fundación Horizonte Verde y TNC, 2020). La escasa tecnificación de los sistemas productivos colombianos, en particular el bajo uso de tecnologías de riego limita la eficiencia productiva y financiera de los predios ganaderos

De igual forma la ganadería extensiva contribuye a la degradación de suelos, la compactación, el sobrepastoreo y la deforestación, factores que afectan directamente la sostenibilidad de los sistemas productivos. De acuerdo con Agrosavia (2021), “más del 70 % de las tierras ganaderas muestran signos de degradación, lo que compromete su productividad futura” (p.5). Adicionalmente, esta situación se agrava en regiones con estaciones secas muy marcadas, donde la escasez de pasturas provoca estrés en los animales, pérdida de peso y necesidad de suplementación externa, incrementando los costos operacionales (Pacheco Pérez et al., 2019).

Por lo tanto, en estas circunstancias o escenarios, el sistema de riego por pivote central se presenta como una alternativa tecnológica esperanzadora. Diversos estudios demuestran que esta tecnología permite asegurar la disponibilidad de forraje durante todo el año, aumentar la cantidad de animales por hectárea, mejorar la calidad del pasto lo que a su vez se ve reflejado en la calidad nutricional del mismo, y finalmente alargar los ciclos productivos (Ouazaa et al., s.f.).

Además de mejorar la calidad nutricional del forraje, este sistema permite prolongar los ciclos productivos (Ouazaa et al., s.f.). A pesar de esto, su adopción enfrenta diversas barreras, especialmente entre pequeños y medianos ganaderos. De acuerdo con el censo pecuario de 2022 del ICA y los reportes sectoriales de FEDEGÁN, “más del 85 % de los ganaderos del país son pequeños productores (con menos de 50 cabezas de ganado), mientras que solo el 4 % corresponde a grandes productores (más de 200 cabezas)” (p.4). Esta estructura productiva, junto con la falta de estudios financieros aplicados que evalúen la rentabilidad real de la inversión, dificulta la adopción de esta tecnología. Asimismo, la ausencia de estudios específicos que modelen los costos de instalación, operación y mantenimiento, y la escasa información sobre los beneficios en eficiencia productiva, limitan la toma de decisiones informadas dentro del sector.

1.2 Pregunta de Investigación

Esta investigación surge precisamente de esa necesidad: ofrecer evidencia técnica y financiera que permita responder a la pregunta: ¿Es financieramente viable la inversión en un sistema de riego por pivote central para aumentar la productividad y rentabilidad de un proyecto ganadero de 50 hectáreas? El análisis se enfocará en evaluar variables como el retorno sobre la inversión (ROI), el ahorro por reducción en suplementación, el aumento en la ganancia diaria de peso, la valorización de la tierra y los flujos netos proyectados a 10 años. Con ello, se busca aportar herramientas prácticas para la toma de decisiones estratégicas, cerrar la brecha de tecnificación en el sector y avanzar hacia una ganadería más sostenible, eficiente y competitiva.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar la rentabilidad y el impacto productivo de la inversión en un sistema de riego por pivote central en una unidad ganadera de 50 hectáreas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Proyectar la ganancia de peso diaria, el precio por kilogramo y la cantidad de animales vendidos, con el fin de estimar los ingresos generados por la implementación del sistema de riego por pivote central.
- Modelar financieramente la inversión del proyecto, incorporando los costos de capital (CAPEX), operación.
- Evaluar la rentabilidad y viabilidad financiera del sistema, mediante el análisis de indicadores como el Valor Actual Neto (VAN).

2. Revisión de la literatura

2.1 Sistema de riego por pivote de central

El pivote central es un sistema de aspersión mecanizado caracterizado por una tubería larga que gira lentamente alrededor de un punto fijo central (el pivote), cubriendo grandes extensiones de terreno en un patrón circular. A medida que el brazo gira, el agua se distribuye de manera uniforme sobre los potreros, cubriendo grandes extensiones de tierra. Es un método reconocido por su alta eficiencia en la utilización del agua, un factor crítico que le permite reemplazar prácticas antiguas como la irrigación superficial (Hunter Irrigation, 2023)

Ahora bien, uno de los motivos principales para emplear riego por pivote central es la humedad constante del suelo, lo cual promueve un crecimiento más uniforme y saludable del pasto. Puesto que, al aportarse agua de forma regular y homogénea sin depender únicamente de la lluvia, el forraje puede crecer continuamente sin sufrir estrés hídrico

Sumado a esto, el pivote central facilita la aplicación simultánea y precisa de fertilizantes y agroquímicos (Contexto Ganadero, 2017). Esta capacidad para la aplicación de nutrientes junto con el riego optimiza la nutrición del pasto

Esto se permite un mejor rendimiento de forraje, ya que los pastos al tener una irrigación eficiente producen una mayor cantidad de biomasa, lo cual se traduce en calidad. Ahora bien, diversos estudios han demostrado empíricamente esta correlación. Por ejemplo, en investigaciones realizadas con cultivos forrajeros como el sorgo, se ha reportado que la producción de forraje verde bajo sistemas de pivote central puede alcanzar valores significativos, validando la tecnología como una alternativa para el uso eficiente del suelo y el agua (Agrosavia, 2017). Asimismo, se ha observado que al incrementar el volumen de agua aplicado, el rendimiento de pasto se incrementa de forma directamente, resaltando la importancia del riego en la productividad (De la Cruz Tun Dzul *et al.*, 2010).

En otras palabras, el pivote central aporta una seguridad hídrica que estabiliza la producción forrajera: es capaz de garantizar una oferta constante de pasto y reducir la exposición de la finca a la variabilidad del clima. Por lo tanto, los productores ganaderos pueden sostener una temporada de pastoreo más estable y prolongada, evitando caídas drásticas en la disponibilidad de alimento para el ganado durante veranos secos u olas de calor. Este beneficio no solo mejora la productividad del hato, sino que también aporta tranquilidad al saber que el forraje estará disponible aun cuando la lluvia falte.

En Colombia el panorama climático, se caracteriza por patrones de precipitación influenciados por fenómenos de variabilidad climática como El Niño y La Niña. Estos fenómenos se manifiestan en la alternancia de años más lluviosos con años con deficiencias de lluvias, lo que genera oscilaciones significativas en la distribución intra e interanual del agua (ANDI, 2018). Dentro de este contexto nacional, el departamento del Meta, en los Llanos Orientales, se rige bajo una marcada estacionalidad, con una temporada de sequía prolongada (verano) y una temporada lluviosa (invierno).

En la temporada de verano la deficiencia de lluvia por tiempos prolongados es una de las preocupaciones ambientales más críticas en el sector ganadero el modelo tradicional de ganadería extensiva se caracteriza por usar un modelo llamado pastoreo rotacional este se basa en la división del terreno en potreros para alternar periodos de ocupación (pastoreo) y periodos de descanso (recuperación). Idealmente, esta rotación permite que las pasturas se recuperen y reconstruyan sus reservas de energía antes de un nuevo pastoreo (Rodale Institute, s.f.,p.10).

Este equilibrio que se logra con el pastoreo rotacional se rompe en épocas de sequía ya que se afecta la capacidad de rebrote de las plantas, ya que el crecimiento forrajero está fuertemente determinado por la precipitación anual (Bondaruk et al., 2022) cuando el rendimiento de los lotes disminuye es necesario aumentar el tiempo de descanso de estos dificultando el cumplimiento del ciclo de rotación

La consecuencia más grave de que no se cumpla con éxito el ciclo de rotación es el sobrepastoreo de los potreros, los hatos ganaderos se enfrentan con la necesidad de alimentar a los animales, pero la mayoría de los potreros todavía no se han recuperado y hay baja disponibilidad de biomasa por lo que los animales tienden a permanecer más tiempo del adecuado en los pocos potreros que aún tienen forraje o son reingresados a lotes que no han completado su periodo de recuperación. Este pastoreo repetitivo sobre plantas ya estresadas por la sequía conduce al agotamiento de sus reservas de carbohidratos no estructurales, comprometiendo la supervivencia de la planta y su capacidad futura de rebrote, lo que a largo plazo facilita la degradación y la invasión de malezas (CSU Extension, s.f.,p.3). Por lo tanto, el déficit hídrico no solo reduce la cantidad de forraje, sino que también amenaza la sostenibilidad del pasto al incrementar el riesgo de degradación del suelo y la pérdida de productividad

Para aprovechar al máximo un sistema de riego por pivote central en pasturas, es fundamental ajustar el caudal y la frecuencia de riego según el tipo de pasto y las condiciones climáticas del lugar. Cada especie forrajera presenta requerimientos de agua diferentes debido a variaciones en su tasa de evapotranspiración, la profundidad de sus raíces y su resistencia a la sequía (Traxco S.A. 2023).

En el panel de control del pivote central, el operador puede configurar diferentes variables como: la velocidad de rotación esta va a definir cuánta agua se aplicará por hectárea, el ángulo de cobertura si se quiere regar en 360° o solo en un sector, y los tiempos de inicio y finalización. Estos parámetros deben ajustarse en función del tipo de pasto, la humedad del suelo y las condiciones climáticas del día.

2.2 Productividad Ganadera

En la investigación pecuaria, el indicador de la Ganancia Diaria de Peso (ADG), expresada en kilogramos por animal y día

- Ganancia de peso diaria (ADG)= (kg/día) = (Peso final - Peso inicial) / Número de días
- Conversión = Kg de alimento consumido / Kg de peso ganado

- $\text{Kg vendidos por lote} = \text{N}^\circ \text{ de animales} \times \text{Peso promedio por animal}$

Esta métrica es fundamental para evaluar la eficiencia zootécnica y económica en sistemas de ceba o engorde. Esta variable es operativamente como el aumento promedio de peso corporal de un animal en un periodo determinado la optimización del ADG refleja la eficacia biológica con la que un animal transforma la materia seca del forraje o la dieta suplementaria en biomasa corporal (Pérez-Hernández *et al.*, 2023, p.7).

Esta variable se ha destacado en investigaciones recientes centradas en la intensificación y sostenibilidad ganadera. Por ejemplo, estudios en el contexto latinoamericano han utilizado el ADG para comparar la respuesta productiva de diferentes genotipos bovinos bajo sistemas silvopastoriles (Aguilar-Velasco *et al.*, 2021) o para evaluar el efecto de distintas estrategias de suplementación en épocas de escasez de forraje (Castro *et al.*, 2019). Así mismo, investigaciones han empleado esta métrica para cuantificar el impacto económico y productivo de la implementación de tecnologías de agricultura de precisión (como el riego tecnificado) sobre la capacidad de carga animal y el rendimiento final del lote (García-Luna *et al.*, 2022)

En este estudio, la ganancia diaria de peso (GDP) se considerará un factor directo en la generación de ingresos. Su uso se integrará en el modelo de flujo de caja, ya que la producción comercializable (kilogramos vendidos) se calcula directamente como el producto de la GDP, el número de días de finalización y el número de animales en el grupo ($\text{GDP} \times \text{Número de días} \times \text{Número de animales}$). Este enfoque enfatiza que los cambios en las prácticas de manejo o las condiciones ambientales, como la disponibilidad de agua en los pastos, impactan directamente en la GDP, modulando así los ingresos económicos generales del sistema. Por lo tanto, cuantificar con precisión la GDP es crucial para establecer una relación causal entre una mejor gestión del agua y el rendimiento financiero de la unidad de producción.

En conclusión, cabe destacar que la ganancia diaria de ganado no es simplemente un indicador biológico, sino una métrica económica clave para la producción de carne. Su interpretación directa como volumen de producción por unidad de tiempo y por animal la convierte en un factor fundamental para la previsión de

ingresos. Por lo tanto, es una variable clave en el análisis financiero y en la determinación de la rentabilidad del modelo propuesto en esta tesis.

2.3 Productividad Forrajera

La productividad forrajera se refiere a la cantidad de materia seca (MS) que un potrero produce por hectárea en un año. Se mide en toneladas de MS/año, y es una de las variables clave para determinar cuánta biomasa está disponible como alimento para el ganado y complementada con su calidad nutritiva (Mena *et al.*, 2018) Su fundamento teórico radica en la ecofisiología vegetal, que dicta que la producción primaria de biomasa es el recurso limitante clave que determina la capacidad de un ecosistema forrajero para sostener una carga animal determinada (Chacón y Rivera, 2020)

Sin embargo, la abundancia de pasto no es suficiente: su valor nutricional es igualmente importante. Se pueden utilizar varios indicadores para evaluar su calidad:

- FDN (fibra detergente neutra): mide la cantidad de fibra estructural en el forraje. Los niveles altos de FDN reducen la ingesta voluntaria de alimento por parte de los animales.
- FDA (fibra detergente ácida): mide la fracción menos digestible de la fibra; a mayor FDA, menor digestibilidad.
- Proteína bruta: mide el contenido total de nitrógeno del forraje. Es esencial para el crecimiento del ganado.
- Digestibilidad: mide el porcentaje de materia seca que los animales pueden digerir eficazmente
- Tasa de rebrote: mide la tasa de rebrote del pasto después del pastoreo o la siega, un factor clave al planificar la rotación de cultivos.

Estos parámetros determinan tanto la capacidad forrajera (el número de animales que una pastura puede soportar sin deteriorarse) como la ganancia diaria de peso (GDP) que un rebaño puede alcanzar. Los alimentos

de fácil digestión, ricos en proteína y con un contenido moderado de fibra, proporcionan una mayor ingesta diaria de nutrientes y, en consecuencia, una mayor conversión alimenticia.

Por lo tanto, existe una relación directa entre la cantidad de forraje, su calidad (valor nutricional) y la planificación racional de las rotaciones de pasturas. Un sistema de pastoreo gestionado eficazmente ajusta el uso de la pastura y los periodos de descanso en función de la tasa de crecimiento y la disponibilidad de forraje, garantizando así que los animales tengan acceso constante a la pastura en condiciones óptimas.

La implementación de sistemas de riego por pivote central cambia radicalmente la ecuación de la productividad, aumentando la capacidad forrajera y la ganancia diaria promedio (GDP) a niveles significativamente superiores a los de los sistemas extensivos.

Estudios realizados en áreas tropicales y subtropicales para evaluar pastos de alto rendimiento como *Brachiaria* o *Cynodon plectostachyus* bajo riego por pivote y fertilización continua han demostrado aumentos significativos en el rendimiento. Por ejemplo, investigaciones en México han documentado cargas animales que alcanzan entre 9 y 10 UGG aproximadamente en pastos irrigados, un aumento drástico comparado con las cargas tradicionales donde el UGG es de 1.88 en sistemas sin riego intensivo (De la Cruz Tun Dzul *et al.*, 2010).

En el llano colombiano se ha adoptado el pastoreo intensivo a menudo relacionado con el riego tecnificado, lo que ha permitido mantener cargas sostenibles de entre 10 a 12 UGG * HA (Equivalentes a 450 KG * UGG) ya que los riesgos tecnificados tienen la capacidad de aplicar riego y fertirriego simultáneamente y que de esta forma se garantice la manutención continua durante todo el año, mitigando la estacionalidad productiva en las épocas de verano.

2.4 Precio del Ganado y Curva por Rangos de Peso

El precio del ganado es una de las variables más importantes en la modelación de un proyecto relacionado al sistema bovino. En esta intervienen tanto el valor biológico del animal como el equilibrio entre la oferta y la demanda de carne en el mercado nacional. Ahora bien, en Colombia los estudios existentes a la fecha han

buscado comprender que patrones hay entorno a la variación estacional. De acuerdo con Castillo (2007), se puede afirmar que los precios del ganado macho de levante en Montería presentan comportamientos cíclicos y estacionales asociados con la oferta de pastos, estas condiciones climáticas inciden directamente en las fluctuaciones del precio y en consecuencia en las decisiones de venta. Cabe mencionar, que estas fluctuaciones se presentan en sistemas de producción con rotación de pasturas, donde la disponibilidad forrajera incide en la alta productividad y rentabilidad.

Por otro lado, al analizar esta variable desde un enfoque econométrico, múltiples investigaciones han proyectado el comportamiento de los precios del ganado a nivel histórico para identificar las fuentes de volatilidad y proyectar tendencias con el pasar de los años. Por ejemplo, Reales Rodríguez (2022) aplicó modelos de forecasting (ARIMA y regresión múltiple) a los precios base de subastas ganaderas en Colombia, demostrando que las variables más relevantes son la categoría del animal, el peso promedio, la tasa representativa del mercado (TRM) y los precios internacionales del maíz, insumo esencial en la alimentación bovina.

Adicionalmente, los resultados de este estudio demuestran que los precios de compra y venta del ganado están ligados tanto a factores biológicos y macroeconómicos. Por otra parte, las denominadas curvas por rangos de peso representan la relación no lineal entre el peso vivo y el precio por kilogramo, permitiendo identificar el punto en el cual la rentabilidad marginal comienza a decrecer. Por lo tanto, estas curvas son esenciales para optimizar el peso ideal de venta y estimar de una manera más informada los ingresos esperados de un sistema productivo.

Investigaciones como las de Castillo y Flórez (2005) acerca de la transmisión de precios entre mercados regionales nos señalan que, en Colombia, los valores de compra y venta del ganado se integran parcialmente entre regiones. Esto genera que los productores rurales reciben alertas de precio con cierta diferencia rezago, lo que afecta la eficiencia de las ganaderías y la planeación de ventas. No obstante, actualmente en el país se han construido mecanismos para mitigar esto, tales como las subastas ganaderas regionales, las cuales, permiten la

transparencia y la estandarización de precio por kilogramo a nivel regional, reduciendo de este modo la desinformación entre compradores y vendedores. Con esto, se busca recalcar que, la variable “precio del ganado” no solo representa el valor de transaccional en un momento dado, sino que funciona como un indicador que está sujeto a la productividad, eficiencia y competitividad a nivel territorial.

Por otro lado, se hallaron análisis del precio por kilogramo teniendo en cuenta otras el sexo y edad. De acuerdo con Castillo (2008), los precios del ganado hembra evidencian una mayor volatilidad y sensibilidad estacional que los del macho. Ahora bien, esto se debe a la disponibilidad de alimento, que alteran la oferta y la demanda de esta actividad económica. Es importante resaltar, que en ambos casos, el peso corporal sigue siendo un gran determinante en su valor relativo dentro de la subasta.

Con respecto a lo mencionado, Castillo (2008) enuncia que los animales con pesos intermedios suelen obtener precios por kilogramo más altos que los de peso extremo, lo que refuerza la utilidad de la curva por rangos de peso como herramienta de evaluación económica. Este patrón confirma que la comercialización del ganado no se define solo por el volumen vendido, sino por la rapidez en la que un ganadero puede convertir peso corporal en valor de mercado.

En el marco de esta investigación, el análisis del precio del ganado se fundamenta en información oficial proveniente de la Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGÁN, 2024). Para la construcción del modelo financiero, se tomaron los precios promedio del ganado macho cebado por kilogramo en pie, correspondientes a las regiones Caribe, Magdalena Medio y Llanos Orientales, durante el período 2022–2025 (véase Anexo 1).

Estas cifras, al ser las más representativas a nivel nacional, permitieron estandarizar el valor promedio de compra y venta de ganado en pie, obteniendo un precio de referencia nacional ajustado al contexto productivo del Meta. Ahora bien, este promedio, construido a partir de tres años de información oficial, nos brinda una base de información veraz para proyectar los ingresos y la inversión del sistema bajo diferentes escenarios de peso y productividad, garantizando consistencia entre la modelación financiera y la realidad del mercado colombiano.

De acuerdo con el fundamento teórico de esta variable, se debe recalcar que esta se enmarca en la economía agraria clásica, donde el precio agrario refleja tanto los costos de producción como las expectativas de consumo (Tomek y Robinson, citados en Castillo, 2007). En el sector ganadero, el precio funciona como un indicador de eficiencia productiva y económica, ya que agrupa la relación entre disponibilidad de alimentos (pastos), genética, alimentación, clima y demanda. Por lo tanto, la modelación del precio en función del peso permite el valor generado por cada kilogramo ganado en un tiempo determinado. Lo mencionado, se evidencia especialmente en sistemas tecnificados con riego por pivote central, ya que, la disponibilidad de agua genera que un forraje constante y de calidad reduciendo de este modo la estacionalidad y mejorando la productividad. De este modo, la curva de precios por rangos de peso no solo describe una tendencia comercial, sino que constituye una herramienta de planeación estratégica para el manejo productivo y financiero de un proyecto de ganadería.

Por otra parte, desde el punto de vista financiero, el precio del ganado impacta directamente los flujos de caja, el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Retorno sobre la Inversión (ROI) del proyecto. Esto debido a que, el ingreso bruto depende del producto entre el peso final y el precio por kilogramo, cualquier variación en el precio promedio afecta la rentabilidad global. En el sistema propuesto de rotación de pastos con riego por pivote central, el incremento en la productividad forrajera permite alcanzar pesos comerciales óptimos en menor tiempo, aprovechando los periodos de precios altos y reduciendo el riesgo de venta en condiciones desfavorables. La integración de la variable “precio del ganado y curva por rangos de peso” al modelo financiero permite, por tanto, proyectar ingresos realistas, evaluar escenarios de sensibilidad ante fluctuaciones del mercado y sustentar la viabilidad económica de la inversión.

En síntesis, el análisis del precio del ganado y su curva por rangos de peso articula los componentes técnicos y financieros de la producción bovina. Al emplear datos oficiales de FEDEGÁN y metodologías econométricas recientes, esta variable se convierte en el vínculo clave entre la productividad ganadera.

2.5 Estructura de Inversión y Costos Operativos

En el desarrollo de esta investigación determinamos como objeto de estudio la inversión y los costos operativos, ya que, estos constituyen variables esenciales en la evaluación económica de sistemas de riego tecnificados. Ahora bien, en los últimos años, numerosos estudios han empleado la relación entre CAPEX (Capital Expenditure) y OPEX (Operational Expenditure) como herramienta para comparar alternativas tecnológicas, analizar escenarios de eficiencia hídrica y estimar los retornos económicos del riego por pivote central. Por ejemplo los estudios Texas A&M AgriLife Extension (2012) y O'Brien (2010) enmarcan que el propósito principal del análisis de costos en este tipo de sistemas productivos es estimar el punto de equilibrio entre la inversión inicial y el incremento de la productividad, debido a la implementación de este sistema de riego. Por otro lado, North Carolina State University (2007/2024) y Michigan State University Extension (s. f.) establecen que es importante cuantificar el costo por hectárea irrigada y a estimar el costo unitario del agua aplicada. Ahora bien, estos enfoques han sido aplicados ampliamente en investigaciones agrícolas y ganaderas con el fin de determinar la rentabilidad de los pivotes frente a métodos de producción tradicionales, evidenciando de este modo su importancia en el análisis financiero de proyectos agropecuarios tecnificados.

Podemos resaltar que, esta variable se encuentra soportada por el enfoque de Life-Cycle Cost Analysis (LCCA), una metodología propuesta por el Whole Building Design Guide (WBDG, s. f.), la cual, busca evaluar el costo total de propiedad de un sistema a lo largo de su vida útil, considerando no solo el gasto inicial de inversión, sino también los costos de operación, mantenimiento y reposición. Bajo este enfoque, la decisión de inversión en un sistema de riego se encuentra asociada al valor presente neto de todos los costos y beneficios proyectados en el tiempo, lo que permite evaluar la opción de menor costo total y mayor eficiencia de largo plazo. Por otra parte, La U.S. Natural Resources Conservation Service (2003) recomienda aplicar este tipo de análisis en sistemas de riego para asociar de una manera más objetiva la relación entre costo y productividad, especialmente en contextos donde los recursos hídricos son limitados.

Estudios de North Dakota State University (2022) estiman que el costo total de instalación de un sistema completo con pozo y energía se aproxima a USD 1.200 por hectárea. No obstante, el rango propuesto por la Alabama Cooperative Extension System (2023) oscila entre USD 1.100 y USD 2.100 por hectárea. Estas cifras pueden variar dependiendo de la topografía y el tipo de suelo, con respecto a esto, Nelson Irrigation (2023) enuncia que el diámetro de las tuberías, la longitud del pivote y las condiciones de presión influyen directamente en la variación de estos costos, al igual que la disponibilidad de infraestructura eléctrica. El OPEX, por su parte, integra los gastos anuales derivados del uso y mantenimiento del sistema, incluyendo el consumo de energía, la mano de obra operativa, la fertilización líquida, y los costos de reparación preventiva y correctiva (Texas A&M AgriLife Extension, 2012; Michigan State University Extension, s. f.).

Cabe mencionar que, en América Latina, Mena-Martín, Tijerina-Chávez y Acosta-Hernández (2010) demostraron que la evaluación técnica y económica de equipos de pivote central permite estimar, lo siguiente: Retornos por aumento en la productividad forrajera; Costos marginales de energía; Mantenimiento asociados a su operación continua. Además, estos tipos de análisis se ha replicado en estudios de AGROSAVIA (2021), que proponen la adaptación de la estructura CAPEX–OPEX al contexto colombiano mediante el cálculo del costo total anual equivalente y su relación con la productividad esperada del sistema. Con este enfoque se pueden estimar indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Retorno sobre la Inversión (ROI) considerando la vida útil del pivote, que en promedio supera los 20 años.

En esta investigación, la variable “estructura de inversión y costos operativos” será utilizada para modelar financieramente la viabilidad del sistema de riego por pivote central en un área de 50 hectáreas. En el análisis se incluirán los componentes descritos, valorados según parámetros internacionales y ajustados al contexto colombiano. La relación entre ambos nos permitirá calcular los flujos de caja netos del proyecto y derivar los indicadores financieros de rentabilidad (VAN, TIR, ROI y periodo de recuperación). En síntesis, esta variable constituye el eje técnico y económico entre la inversión física en infraestructura con los resultados financieros esperados.

2.6 Riesgos y Análisis de Sensibilidad

La gestión del riesgo es un componente esencial en la evaluación financiera en un proyecto agropecuarios, especialmente en aquellos que incorporan tecnologías de alta inversión de capital. En los últimos años, estas investigaciones han permitido medir la exposición de los flujos de caja frente a factores externos e internos y estimar la rentabilidad del proyecto ante variaciones en precios, costos o rendimientos. De acuerdo con, Investment Learning Platform de la FAO (s. f.), el análisis de riesgo se constituye como un proceso sistemático que comprende la identificación, clasificación y jerarquización de riesgos, tales como: Climáticos, de mercado, operativos, institucionales y financieros. Adicionalmente, en el contexto de los proyectos de inversión agropecuaria, este enfoque se ha aplicado para evaluar la vulnerabilidad económica de sistemas ganaderos frente a: la variabilidad climática; la volatilidad de precios; fallas técnicas o de gestión. El propósito de esto es cuantificar el grado de incertidumbre y anticipar el impacto potencial de ciertos escenarios sobre los indicadores de rentabilidad, favoreciendo la toma de decisiones informadas.

El fundamento teórico de esta variable está basado en la economía del riesgo y en los métodos de análisis de sensibilidad y escenarios, los cuales buscan estimar cómo los cambios en los supuestos del modelo afectan el desempeño financiero del proyecto. Con base a lo expuesto, el documento MF2242 desarrollado por Kansas State University y Texas A&M (2011) ejemplifica este enfoque al comparar sistemas de riego subterráneo y de pivote central mediante análisis de sensibilidad a precios, rendimientos y costos de operación, evidenciando cómo pequeñas variaciones en estos parámetros pueden modificar significativamente los resultados financieros de este

Se debe resaltar que, los sistemas de riego por pivote central implican riesgos operativos que deben ser considerados dentro del análisis financiero. El USDA Agricultural Research Service (2020) identifica que: los principales riesgos asociados a estos equipos incluyen fallas en los motores eléctricos, roturas en las tuberías, desalineaciones mecánicas, variaciones en la presión de bombeo y deficiencias en el mantenimiento preventivo, todos los cuales pueden elevar los costos operativos (OPEX) y reducir la disponibilidad del sistema (p.3) . Estas

contingencias, pueden llegar a tener efectos acumulativos sobre la eficiencia del riego y, por ende, sobre la productividad forrajera y la ganancia en kilos al día por animal. Por su parte, la FAO (s. f.) clasifica estos riesgos dentro de la categoría operativa y recomienda ciertas estrategias de mitigación como: mantenimiento programado; capacitación técnica y seguros de equipos. La incorporación de estas variables en el modelo financiero permite reflejar la incertidumbre real de la operación y estimar la sensibilidad del flujo de caja ante variaciones de costos imprevistos.

En el caso de la ganadería del Meta, los riesgos climáticos ocupan un lugar prioritario debido a la alta variabilidad pluviométrica asociada al fenómeno El Niño–Oscilación del Sur (ENSO). Estudios publicados en *Frontiers in Sustainable Food Systems* (2019) demuestran que los eventos ENSO generan pérdidas significativas en el sector ganadero colombiano por la disminución de la disponibilidad de pasturas, el estrés térmico del ganado y la reducción en los indicadores de productividad. No obstante, estas fluctuaciones en la oferta forrajera no se evidenciarán en el análisis, ya que, el sistema de riego por pivote central permite tener una oferta de forraje constante. Adicionalmente, cabe enunciar otros riesgo relevantes, como: variación en los precios del ganado, Variación de la energía eléctrica; Incrementos de los fertilizantes; fluctuaciones en la tasa de cambio (TRM) en insumos importados.

Finalmente, podemos decir que esta variable se utilizará para medir cómo la volatilidad de las principales variables del modelo financiero. Los resultados permitirán identificar los factores de mayor impacto sobre la estabilidad del proyecto y definir estrategias de mitigación. En resumen, la incorporación del análisis de riesgos y sensibilidad no solo fortalece la robustez de este estudio, sino que constituye una herramienta estratégica para gestionar la incertidumbre, reducir la exposición a pérdidas y mejorar la toma de decisiones de inversión en la ganadería tecnificada del Meta.

2.7 Hipótesis

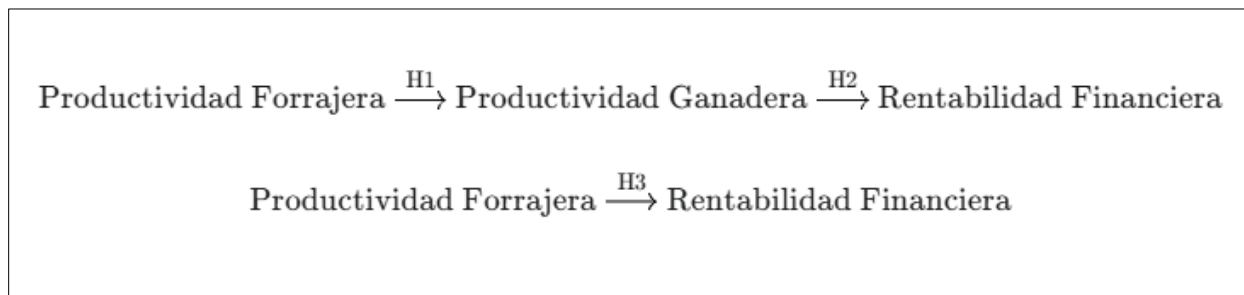
La implementación de un sistema de riego central busca transformar el ecosistema ganadero mitigando la estacionalidad de la producción forrajera característica de la región del Meta. La variable central en esta transformación es el aumento de la productividad forrajera medida en: $(T*MS) / (HA*Año) * (Calidad\ nutritiva)$, al asegurarse un suministro constante y de alta calidad en forraje, la finca puede mantener una densidad de población estable significativamente mayor durante todo el año.

Por lo tanto, se puede establecer que este aumento en la biomasa disponible y su valor nutricional se traduce directamente en una mejora en la ganancia diaria de peso (GD), ya que los alimentos altamente digestibles ricos en proteínas y moderados en fibra proporcionan una mayor ingesta diaria de nutrientes y, en consecuencia, una mejor conversión alimenticia. Adicionalmente, al optimizarse la variable ADG, se evidenciarán cambios entorno a las proyecciones financieras del proyecto. Esto debido a que, la producción comercializable (kilogramos vendidos) se calcula directamente en función de la ADG, el número de días y el número de animales. Por lo tanto, este sistema de riego permitirá estabilizar la base forrajera y aumenta el rendimiento del forraje, lo que afecta a la ADG, que, a su vez, modula el ingreso económico general del sistema.

Ahora bien, se puede afirmar que, la interrelación positiva entre el aumento de la Productividad Ganadera (ADG) y la mejora de la Productividad Forrajera impacta directamente la Rentabilidad Financiera del proyecto (medida por indicadores como el Valor Actual Neto o VAN) A pesar de la inversión inicial (CAPEX) y los costos operativos (OPEX) significativos, se espera que el aumento de la productividad por hectárea y por animal genere ingresos brutos suficientes para cubrir estos costos y proporcionar un flujo de efectivo neto positivo. Un análisis de costos de inversión ((CAPEX–OPEX)) y una evaluación técnica mostraron que el aumento de la productividad de los cultivos forrajeros puede producir beneficios económicos significativos. Por lo tanto, mejorar la productividad de los cultivos forrajeros a través de la productividad ganadera optimizada contribuye a aumentar los ingresos y la sostenibilidad financiera general del proyecto.

Figura 1

Gráfica de la hipótesis



Nota. Elaboración propia

3. Metodología de la Investigación

3.1 Tipo y Diseño de la Investigación

Esta investigación adopta un enfoque mixto, integrando métodos cuantitativos y cualitativos de forma complementaria para evaluar los efectos técnicos y productivos como la viabilidad financiera de implementar un sistema de riego por pivote central en una unidad ganadera de 50 hectáreas en el departamento del Meta. Ahora bien, esta integración metodológica permite triangular la evidencia técnica, financiera y perceptiva, combinando el análisis numérico de los resultados productivos con la visión práctica de algunos ganaderos que han implementado este sistema.

Adicionalmente, desde el enfoque cuantitativo, se desarrolló una modelación financiera basada en flujos de caja descontados (DCF), los cuales estimaron las variables de productividad (ganancia diaria de peso, oferta forrajera, precios de compra y venta del ganado) y rentabilidad Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR). Los supuestos técnicos provienen de fuentes reconocidas en el sector, tales como: FEDEGÁN, FAO, USDA, Banco Agrario de Colombia y universidades estadounidenses (Texas A&M, North Carolina State, Kansas State). Por su parte, los parámetros económicos instaurados se ajustaron al contexto colombiano y proyecciones estadísticas oficiales del Banco de la República. Por último, se incorporó un análisis de sensibilidad que mide la respuesta del modelo ante variaciones en productividad y precios.

Desde el enfoque cualitativo, se recopiló información primaria mediante entrevistas semiestructuradas aplicadas a productores, técnicos, proveedores y analistas del sector ganadero, con el propósito de identificar percepciones, barreras de adopción tecnológica, riesgos operativos y condiciones de sostenibilidad del sistema. Las entrevistas fueron validadas por expertos en riego y producción bovina, y posteriormente analizadas mediante una codificación temática, que permitió clasificar las respuestas en categorías de productividad, gestión económica y riesgo operativo.

El estudio es de tipo aplicado y proyectivo, ya que busca diseñar una propuesta técnica y financiera de inversión viable, contextualizada a las condiciones de los llanos orientales. El diseño es no experimental y

transversal, pues no se manipulan variables, sino que se analizan las condiciones actuales del sistema productivo, combinadas con proyecciones financieras a un horizonte de 10 años. En conjunto, esta metodología nos permitió evaluar de manera integral la eficiencia técnica y económica de la tecnificación hídrica en la ganadería de ceba, proporcionando evidencia empírica útil para la toma de decisiones en el sector.

3.2 Población y Muestra

La población objetivo corresponde a las unidades productivas ganaderas del departamento del Meta que operan bajo sistemas de ceba bovina y presentan interés en tecnificar sus procesos productivos a través de soluciones de riego.

La unidad de análisis seleccionada fue la empresa ganadera LA JOYA SAS, localizada en el Meta, la cual fue escogida mediante muestreo intencional, ya que cumple con los siguientes criterios:

- Desarrolla ganadería de carne bajo pastoreo rotacional.
- Posee disponibilidad hídrica y condiciones topográficas aptas para riego por pivote central.
- Presenta limitación en la capacidad instalada, y por lo tanto solo tiene un área (50 hectáreas) disponible para un proyecto de ganadería intensiva.

Adicionalmente, se realizaron 20 entrevistas semiestructuradas a actores clave del ecosistema ganadero regional:

- Productores (10)
- Técnicos o zootecnistas (3)
- Proveedores y expertos en riego tecnificado (2)
- Analistas financieros y usuarios del sistema (3)

Esta muestra nos permitió triangular información técnica, operativa y económica relevante para la modelación del proyecto.

3.3 Instrumento de Recolección de Información

3.3.1 Entrevistas Semiestructuradas:

Diseñadas con base en categorías como productividad, costos operativos, riesgos técnicos y resultados observados. Las preguntas fueron validadas por expertos y aplicadas de manera presencial y virtual, con una duración promedio de 45 a 60 minutos.

3.3.2 Revisión Documental:

En la revisión de información académica se incluyeron estudios técnicos de instituciones como la FAO, FEDEGÁN, Agrosavia, USDA y universidades estadounidenses (Kansas State, Texas A&M, North Dakota State). Esta información permitió establecer parámetros de costos, rendimientos y consumo de agua aplicables al contexto colombiano.

3.3.3 Modelación Financiera:

Se construyó un modelo de flujo de caja en Microsoft Excel, estructurado con base en los componentes CAPEX (inversión inicial) y OPEX (costos operativos anuales), a fin de proyectar ingresos, egresos e indicadores de rentabilidad a diez años.

3.4 Procedimientos

3.4.1 Diagnóstico y Delimitación del Proyecto:

Esta fase inicial se centró en la recopilación de información específica de la unidad de análisis, la finca SABUCAN propiedad de la empresa GANADERIA LA JOYA SAS.

- Se realizó el levantamiento de información clave de la finca, incluyendo el área, la disponibilidad hídrica, el sistema de pastoreo actual y la carga animal
- Se identificaron los requerimientos técnicos necesarios para la instalación efectiva del sistema de riego por pivote central
- Se adquirió información histórica, relacionada a los costos y gastos arraigados a la ceba de ganado.

3.4.2 Recolección y Sistematización de Información Primaria:

Se aplicaron entrevistas semiestructuradas a actores clave del ecosistema ganadero regional. Ahora bien, la sistematización se basó en categorías temáticas predefinidas, como productividad, costos operativos, riesgos y la percepción de rentabilidad del sistema propuesto.

3.4.3 Revisión Documental y Parametrización:

Esta etapa implicó la recopilación de información secundaria para establecer la base de la modelación financiera. Por lo tanto, se recolectaron valores de inversión, operación y rendimiento del sistema de riego de fuentes académicas e institucionales. Ahora bien, se adaptaron estos parámetros técnicos a las condiciones específicas del contexto local del Meta, considerando variables como suelo, topografía, clima y precios de mercado

3.4.4 Construcción de la Modelación Financiera

El estudio cuantitativo se desarrolló en esta fase mediante un modelo de flujo de caja en Microsoft Excel. Principalmente, se estimaron los indicadores financieros clave para evaluar la viabilidad: Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno, Retorno sobre la Inversión y Período de Recuperación. Adicionalmente se incorporó un análisis de riesgos y sensibilidad ante variaciones de variables críticas, como precios, productividad y costos energéticos, para evaluar la robustez del proyecto. Cabe señalar que todas las variables se tomaron de fuentes primarias, empresas comparables y datos reales de empresas del sector.

4. Análisis de los Resultados

4.1 Resultados Cualitativos

Esta sección presenta los resultados de entrevistas semiestructuradas realizadas a actores clave de los sectores ganadero y agroindustrial (grandes productores, administradores de fincas equipadas con sistemas tecnológicos y consultores técnicos). El objetivo fue explorar las percepciones, experiencias y evaluaciones del uso e impacto del riego por pivote como estrategia de adaptación a la variabilidad climática e intensificación de la producción. Los resultados se categorizaron según temas clave, con énfasis en la eficiencia hídrica, la estabilidad del alimento y la viabilidad económica del sistema.

Tabla 1

Percepciones de los ganaderos - productividad y estabilidad del riego por pivote central

Categoría	Hallazgo principal	Cita textual representativa
Estabilidad forrajera anual	Los entrevistados destacan la fuerte variabilidad en la disponibilidad de forraje a lo largo del año. Señalan que el riego por pivote central permite mantener una producción constante, reduciendo la dependencia de las lluvias y el impacto de las sequías.	“Aquí en el Meta, uno vive a merced del invierno y el verano. En verano, el potrero se quema, el pasto es paja y los animales pierden peso. Toca comprar silo o pacas carísimas. Con el pivote, la esperanza es tener pasto verde todo el año, sin depender de que llueva; eso cambiaría todo el manejo de la finca.” <i>Eduardo González, propietario de proyecto ganadero con sistema de riego por pivote central</i>
Capacidad de carga	Los ganaderos reconocen que sus potreros actuales tienen baja capacidad de carga, lo que limita la rentabilidad. Con el riego por pivote central esperan duplicar o triplicar el número de animales por hectárea sin comprometer el rendimiento individual, mejorando significativamente los ingresos.	“Con el pasto que tenemos hoy, cada potrero aguanta lo que aguanta. Si meto más ganado, se lo comen en dos días y empiezan a bajar de peso. Uno sueña con tener el doble o el triple de animales en la misma tierra, y eso solo se logra con mucho pasto, parejo y de calidad. El pivote promete eso.” <i>Manuel Ernesto Navarro, propietario Agropecuaria El Búho</i> “Si hoy tengo 1.5 cabezas por hectárea y con el pivote puedo tener 4 o 5, el negocio cambia por completo. Es tener más kilos de carne por hectárea, y eso es plata.” <i>Aiza González, propietaria La Joya S.A.S.</i>

Nota. Elaboración propia

Tabla 2

Percepciones de los ganaderos - productividad y estabilidad del riego por pivote central

Categoría	Hallazgo principal	Cita textual representativa
Costos y mantenimiento	Aunque la inversión inicial es alta, los ganaderos coinciden en que el mantenimiento es sencillo y los costos operativos se compensan rápidamente gracias al aumento en productividad y ahorro en suplementos. Mencionan que factores como la energía, la topografía y los permisos ambientales influyen en el costo total.	“La inversión inicial fue alta, pero el sistema no requiere tanto mantenimiento y el retorno se ve en la producción de pasto y en el peso de los animales.” “El gasto fuerte es al principio, después los costos se amortizan rápido porque todo el año tenemos comida.” <i>Kenny Silva, propietario Hacienda El Palmar</i> “La mayor dificultad son los permisos ambientales y la capacitación del personal para operar el sistema.” <i>Camilo Manrique, productor con sistema de pivote central</i>
Riesgos operativos	Los principales riesgos se relacionan con fallas eléctricas o mecánicas y variaciones en la presión del agua. Sin embargo, los productores coinciden en que estos son controlables con mantenimiento preventivo.	“El mayor riesgo es cuando se va la luz o falla una pieza del sistema, pero con buen mantenimiento se soluciona rápido.” “Hacemos revisión mensual del equipo y casi no hemos tenido fallas serias.” <i>Natalia Castellanos, profesional en sistemas de riego</i>
Calidad nutricional del forraje	El riego mantiene la uniformidad y calidad del pasto, aumentando la proteína cruda, la digestibilidad y las ganancias diarias de peso (ADG). Los ganaderos resaltan que el forraje se mantiene verde y nutritivo todo el año.	“Desde que usamos el pivote, el pasto sale más tierno, con más proteína, los animales engordan más rápido.” “El forraje se mantiene verde y nutritivo todo el año, eso se nota en el peso de los animales.” <i>Rodrigo Vargas, propietario de proyecto ganadero con pivote</i>

Nota. Elaboración propia

4.2 Resultados Cuantitativos

El modelo financiero del sistema de riego por pivote central en una unidad de 50 hectáreas se construyó para evaluar la relación entre productividad, rentabilidad y riesgo. El horizonte temporal es de 10 años, con una tasa de descuento (WACC) de 15,53 %, vida útil de 20 años y CAPEX total de \$1.250 millones. El objetivo de este análisis es determinar si el incremento en productividad forrajera y ganadera derivado del riego logra compensar los costos de inversión y operación, y en qué condiciones el proyecto mantiene su rentabilidad.

4.2.1 Precios de Referencia y Proyección

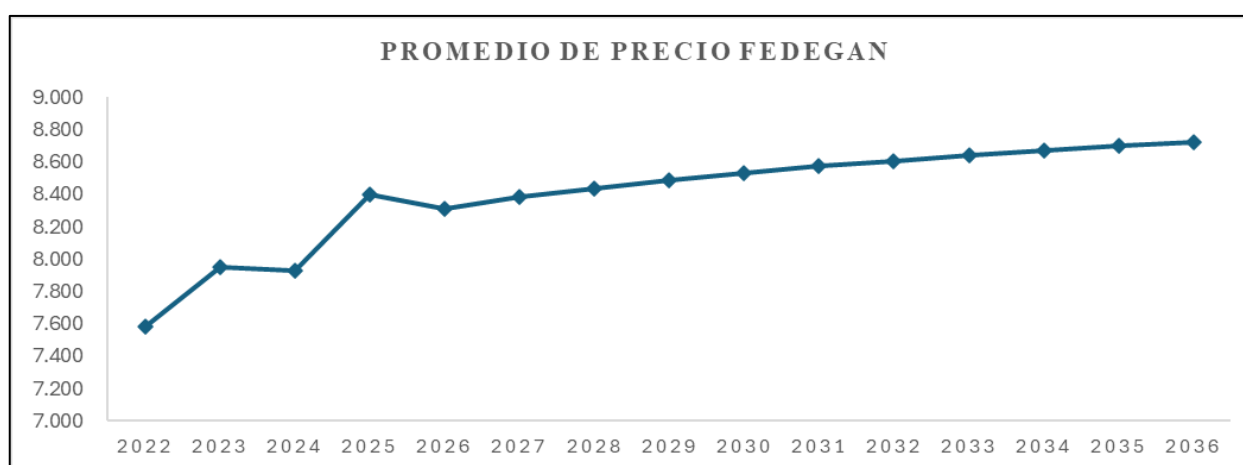
Para la estimación de los precios de compra y venta del ganado, se utilizó información oficial de la Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN) correspondiente a los años recientes, con valores históricos promedio del precio del ganado en pie (COP/kg) por región.

A partir de esta serie temporal se construyó una proyección exponencial que permitió calcular los precios esperados tanto de compra (ganado de 350 kg) como de venta (ganado de 500 kg) a lo largo del horizonte de 10 años.

Este método se seleccionó porque captura el patrón de crecimiento sostenido del mercado cárnico colombiano en la última década, caracterizado por una tendencia ascendente moderada con variaciones estacionales. La proyección exponencial suaviza las fluctuaciones de corto plazo y genera una curva de precios realista y estadísticamente consistente, que sirve como insumo para el cálculo de ingresos y márgenes brutos del modelo.

Figura 2

Proyección Precio por Kilogramo



Nota. Elabora con datos (FEDEGAN,2025)

4.2.2 Resultados Técnicos y Productivos

Tabla 3

Supuestos

Indicador	Valor con riego (pivote central)	Unidad
Productividad forrajera	50	t MS/ha·año
Carga animal	10	UGG/ha
Ganancia diaria de peso	1	kg/animal·día
Nº de animales	540	cabezas
Peso inicial	350	kg
Peso final	500	kg
Días de ceba	120	días
Producción total de carne	750.000	kg/año

Nota. Elaboración Propia

El sistema de riego por pivote central permite tener una la disponibilidad de forraje durante todo el año, evitando el déficit de alimento en época seca. La biomasa generada (50 t MS/ha·año) permite aumentar la carga animal hasta 10 UGG/ha, valor cinco veces superior al promedio extensivo en la región del Meta (2 UGG/ha según FEDEGÁN, 2022). Este cambio técnico eleva la ganancia diaria de peso (ADG) de 0,5–0,6 kg/día en sistemas sin riego a 1 kg/día, lo que representa una mejora del 80–100 % en eficiencia biológica.

El CAPEX total asciende a \$1.250 millones, dividido en:

- Sistema de pivote y adecuaciones: \$900 millones.
- Preparación y adecuación de terreno: \$350 millones.

El OPEX anual se estimó en \$445,8 millones, \$19,1 millones asociados a cada ciclo de ceba. Los principales rubros son: nómina y personal técnico, insumos veterinarios, sal y vitaminas, fertilización, energía eléctrica y contingencias. Ahora bien, la depreciación del sistema de riego por pivote central representa el 2 % del CAPEX anual, cifra alineada con estándares del sector (Texas A&M AgriLife Extension, 2012).

Por otro lado, la estructura de costos y gastos refleja un sistema intensivo con gastos operativos. Ahora bien, las unidades establecidas fueron tomadas a partir de entrevistas realizadas durante el transcurso de esta investigación. Por otro lado, la relación OPEX/Ingresos se mantiene controlada dentro del 35–40 %, indicador de sostenibilidad operativa.

4.2.3 Resultados Financieros Base

Tabla 4

Indicadores y tasas

Indicador	Valor
TIR	34,36%
VAN (COP)	4.524.437.401
Valor terminal (año 10)	9.256.866.926
Tasa de crecimiento a perpetuidad (g)	3,20%
WACC	15,53%

Nota. Elaboración propia

Para determinar la tasa de descuento aplicada al flujo de caja del proyecto, se calculó el Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC), utilizando información financiera de empresas del sector cárnico internacional y parámetros de crédito vigentes en Colombia. Este indicador refleja el costo promedio del financiamiento que enfrenta un inversionista del sector ganadero al combinar recursos propios y deuda. La relación deuda–equity considerada para el desarrollo del modelo financiero fue del 73,5 %, coherente con los esquemas de apalancamiento adoptados por productores medianos y grandes que utilizan crédito agropecuario de largo plazo.

En la estimación del costo del capital propio (K_e) se tomó como referencia el desempeño de empresas comparables listadas en el mercado internacional, cuyas betas fueron obtenidas en Yahoo Finance (septiembre de 2025): Tyson Foods, TreeHouse Foods Inc. (THS), Pilgrim's Pride Corporation (PPC) y Hormel Foods Corporation (HRL). Con estos datos se obtuvo una beta promedio des apalancado de 0,27, que al ajustarse a la estructura financiera del proyecto arrojó un K_e equivalente al 15,3 % en pesos colombianos, incorporando una prima por riesgo país (EMBI Colombia) del 8 %. Por su parte, el costo de la deuda (K_d) se calculó con base en la tasa del Banco Agrario de Colombia para grandes productores al 29 de septiembre de 2025, correspondiente a $IBR + 9,5 \%$, lo que equivale a una tasa nominal cercana al 18,2 % anual.

Al ponderar ambos componentes según su peso en la estructura de capital, se obtuvo un WACC del 15,53 %, que se utilizó como tasa de descuento del modelo financiero. Este valor resume de forma realista las condiciones de financiamiento, riesgo y rentabilidad esperadas en el contexto agropecuario colombiano. La comparación entre este WACC y la TIR obtenida (34,36 %) demuestra que el proyecto genera una prima de rentabilidad significativa en un escenario optimo, duplicando el costo de capital y confirmando su viabilidad financiera y capacidad de creación de valor. En términos prácticos, esto significa que la inversión en riego por pivote central no solo cubre los costos de oportunidad del capital, sino que produce retornos superiores a los estándares del sector, aun considerando un escenario conservador de costos e ingresos.

4.2.4 Análisis de Sensibilidades

Tabla 5

Sensibilidad mortalidad

Sensibilidad Tasa Mortalidad		
TASA	TIR	VAN
0,0%	34,36%	\$ 4.524.437.401
0,5%	33,52%	\$ 4.368.324.148
1,0%	31,85%	\$ 4.056.097.644
1,5%	29,31%	\$ 3.587.757.886
2,0%	25,84%	\$ 2.963.304.877
2,5%	21,36%	\$ 2.182.738.615
3,0%	15,67%	\$ 1.246.059.101
3,5%	8,37%	\$ 153.266.335
4,0%	-1,69%	-\$ 1.095.639.684

Nota. Elaboración propia

La mortalidad es uno de los principales factores de riesgo del modelo. Un incremento de apenas 2 % reduce el VAN en más de COP 2.000 millones, debido a la pérdida directa de animales y la reducción del volumen de venta. Por lo tanto, el punto de inviabilidad de este proyecto se ubica cerca del 4 %, donde la TIR se vuelve negativa. Mantener una mortalidad $\leq 2,5$ % es esencial para conservar la estabilidad financiera, lo que exige protocolos sanitarios estrictos, vacunación preventiva y manejo controlado del estrés térmico. Cabe señalar que todos estos factores se tuvieron en cuenta en los rubros de gastos del modelo.

Tabla 6***Sensibilidad Precio de Venta***

Sensibilidad Variación Precios Venta		
$\Delta(\%)$	TIR	VAN
103,5%	41,97%	\$ 5.984.454.709
103,0%	40,87%	\$ 5.771.197.411
102,5%	39,78%	\$ 5.559.501.244
102,0%	38,69%	\$ 5.349.366.211
101,5%	37,60%	\$ 5.140.792.309
101,0%	36,52%	\$ 4.933.779.540
100,5%	35,44%	\$ 4.728.327.904
100%	34,36%	\$ 4.524.437.401
99,5%	33,28%	\$ 4.322.108.029
99,0%	32,20%	\$ 4.121.339.791
98,5%	31,13%	\$ 3.922.132.685
98,0%	30,05%	\$ 3.724.486.711
97,5%	28,98%	\$ 3.528.401.870
97,0%	27,91%	\$ 3.333.878.161
96,5%	26,84%	\$ 3.140.915.585

Nota. Elaboración propia

El precio de venta, proyectado mediante la curva exponencial con los precios históricos de FEDEGÁN, evidencia una elasticidad moderada. El proyecto sigue siendo rentable incluso con una caída del 3,5 % en precios, lo que evidencia resiliencia ante la volatilidad del mercado. Un aumento del 3,5 % en el precio eleva el VAN casi en COP 1.500 millones, confirmando que las estrategias de comercialización (sincronización de venta por peso óptimo y temporada) pueden mejorar sustancialmente el retorno.

Tabla 7***Sensibilidad Precio de Compra***

Sensibilidad Variación Precios de Compra - Ganado (350KG)		
$\Delta(\%)$	TIR	VAN
103,5%	30,25%	\$ 3.760.621.430
103,0%	30,85%	\$ 3.869.737.997
102,5%	31,44%	\$ 3.978.854.564
102,0%	32,02%	\$ 4.087.971.132
101,5%	32,61%	\$ 4.197.087.699
101,0%	33,19%	\$ 4.306.204.266
100,5%	33,78%	\$ 4.415.320.833
100%	34,36%	\$ 4.524.437.401
99,5%	34,93%	\$ 4.633.553.968
99,0%	35,51%	\$ 4.742.670.535
98,5%	36,09%	\$ 4.851.787.102
98,0%	36,66%	\$ 4.960.903.669
97,5%	37,23%	\$ 5.070.020.237
97,0%	37,80%	\$ 5.179.136.804
96,5%	38,37%	\$ 5.288.253.371

Nota. Elaboración propia

El efecto del precio de compra es menor y controlable. La TIR solo cae 4 puntos porcentuales cuando el precio sube 3,5 %, debido a que el margen de valor agregado (peso ganado y eficiencia de conversión) compensa el costo inicial. Esto refleja que la eficiencia productiva supera la especulación comercial: la fortaleza del modelo proviene más del manejo técnico que de la variación de precios de entrada.

Tabla 8

Sensibilidad Precio de Venta

Sensibilidad Peso Total (KG) x Animales Vendidos			
PESO	$\Delta(\%)$	TIR	VAN
500 KG	100%	34,36%	\$ 4.524.437.401
495 KG	99%	32,69%	\$ 4.212.210.896
490 KG	98%	31,01%	\$ 3.899.984.391
485 KG	97%	29,31%	\$ 3.587.757.886
480 KG	96%	27,59%	\$ 3.275.531.382
475 KG	95%	25,84%	\$ 2.963.304.877
471 KG	94%	24,07%	\$ 2.651.078.372
466 KG	93%	22,27%	\$ 2.338.851.868
461 KG	92%	20,44%	\$ 2.026.625.363
457 KG	91%	18,57%	\$ 1.714.398.858
452 KG	90%	16,65%	\$ 1.402.172.354
448 KG	89%	14,68%	\$ 1.089.945.849
443 KG	88%	12,65%	\$ 777.719.344
439 KG	87%	10,55%	\$ 465.492.840
434 KG	86%	8,37%	\$ 153.266.335
430 KG	85%	6,08%	-\$ 158.960.170

Nota. Elaboración propia

El peso de venta por animal final es la variable zootécnica más determinante después de la mortalidad. Cada reducción de 10 kg en el peso final disminuye el VAN drásticamente.

La viabilidad desaparece si los animales se venden por debajo de 440 kg, por lo que el cumplimiento del plan nutricional y la programación de riego y fertirriego son indispensables. Ahora bien, el sistema de riego permite tener disponibilidad forrajera constante. La curva de sensibilidad muestra un comportamiento cuasi exponencial descendente, donde pequeños descensos de peso generan grandes pérdidas en valor presente.

Tabla 9**Resumen Comparativo y Jerarquización**

Variable	Efecto sobre VAN	Efecto sobre TIR	Nivel de riesgo
Mortalidad	Muy alto	Muy alto	Crítico
Peso final	Alto	Alto	Crítico
Precio de venta	Moderado	Moderado–alto	Importante
Precio de compra	Moderado	Moderado–alto	Importante
Costos energéticos/fertilizantes	Bajo	Bajo	Marginal

Nota. Elaboración propia

4.2.5 Escenario Comparativo

Las variables técnicas y productivas correspondientes al escenario con riego por pivote central ya fueron desarrolladas en detalle en las secciones previas del capítulo 4, donde se definieron los parámetros de carga animal, productividad forrajera, ganancia diaria de peso (ADG), días de ceba e ingresos esperados bajo condiciones de irrigación constante. Dichos valores constituyen la base del modelo financiero y reflejan el desempeño del sistema tecnificado en condiciones óptimas de manejo hídrico y nutricional. Por lo tanto, en esta subsección se enfatizan los supuestos que caracterizan el escenario sin riego, utilizado como línea base para el análisis comparativo.

En los sistemas ganaderos tradicionales del trópico bajo colombiano, la productividad forrajera y la ganancia de peso animal dependen estrechamente de la estacionalidad climática. Durante la época seca, la disponibilidad y calidad del pasto disminuyen drásticamente, lo que obliga a reducir la carga animal o a suplementar con forrajes conservados a altos costos (FAO, 2011; Chacón et al., 2019). En este contexto, se adopta una carga de 1 animal por hectárea, equivalente a 50 animales en el área de estudio (50 ha). Los animales ingresan con un peso promedio de 350 kg y se proyecta una ganancia diaria de 0,5 kg/animal·día, alcanzando un peso final de 500 kg después de aproximadamente 300 días de ceba. Este desempeño implica la realización de cerca de 1,2 turnos por año, con una producción anual estimada de 9.000 kg de carne en pie. Este comportamiento se alinea con los rangos observados en ganaderías de secano en la región de la Orinoquía y evidencia las limitaciones

estructurales de los sistemas sin irrigación frente a los resultados logrados bajo el uso de riego tecnificado (Agrosavia, 2021; FEDEGÁN, 2024; Rodríguez et al., 2008).

Tabla 10

Comparativo sistema tradicional vs Sistema tecnificado

Indicador	Sin riego	Con pivote central	Diferencial	Fuente
Área (ha)	50	50	0	Fijo
Carga animal (cab./ha)	1	10,8	9,8	Modelo / Agrosavia (2021)
Animales simultáneos	50	540	490	Carga × 50 ha
ADG (kg/día)	0,5	1	0,5	Rodríguez et al. (2008)
Días de ceba	300	150	-150	ΔP / ADG
Producción anual (kg)	9.000	750.000	741.000	$N \times \Delta P \times \text{Turnos}$

Nota. Elaboración propia

En el sistema sin riego, la limitación forrajera reduce la carga animal a 1 animal por hectárea y alarga los ciclos de ceba hasta 300 días, permitiendo apenas un turno anual. Ahora bien, la oferta de pasto depende completamente de la estacionalidad climática, por lo que en los meses secos disminuye el consumo y la ganancia de peso (FAO, 2011).

Al incorporarse un sistema de riego por pivote central se estabiliza la producción de forraje, permitiendo rotaciones continuas y doble o triple turno anual. Según Rodríguez et al. (2008), en pasturas irrigadas de *Brachiaria* cv. Mulato II la ganancia diaria puede alcanzar 1 kg/animal* día, duplicando la tasa del sistema tradicional (p.13). Esto se traduce en un incremento sustancial de la producción de carne por hectárea.

Aunque el sistema irrigado implica mayores costos energéticos y de mantenimiento, estos se compensan por el incremento de ingresos derivados de la mayor productividad y rotación del inventario. Ahora bien, al

comparar los estudios en Estados Unidos y Latinoamérica pudimos identificar que, pese al CAPEX adicional, el valor actual neto (VAN) del sistema con riego es superior debido a los mayores flujos de caja netos anuales.

Cabe señalar que, en los sistemas ganaderos tradicionales de ceba presentes en los Llanos Orientales, la rentabilidad está estrechamente condicionada por la baja productividad forrajera y la marcada estacionalidad climática. Por ejemplo, las cargas típicas oscilan en torno a 1 animal por hectárea, con ganancias diarias de peso entre 0,35 y 0,50 kg/animal*día, lo que se traduce en producciones anuales de apenas 120–150 kg de carne por hectárea (Agrosavia, 2021). A estas tasas de crecimiento, un bovino que inicia con 350 kg requeriría cerca de 300 días para alcanzar los 500 kg, limitando los flujos de caja a una sola venta anual, esto en un escenario donde el verano no sea extremo. Este patrón explica la reducida rotación de capital y los márgenes operativos estrechos que caracterizan a la ganadería de secano en la región. De acuerdo con la Guía técnico-financiera para la ceba bovina en la Orinoquía, estos sistemas exhiben “indicadores económicos bajos y alta exposición al riesgo climático”, especialmente cuando se evalúan mediante indicadores como el VPN y la TIR (Agrosavia, 2021).

Bajo estas condiciones, la Tasa Interna de Retorno (TIR) de un sistema de ceba sin riego tiende a ubicarse entre 12% y 17 % anual, dependiendo del precio del ganado y del costo de oportunidad del capital. Algunos estudios de caso en el Meta, como el Plan de Negocio de Ceba Bovina desarrollado por el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA, 2020), muestran que la rentabilidad sin tecnificación puede ser positiva siempre las condiciones climáticas no sean extrema.

4.2.6 Discusión de los resultados

Los resultados obtenidos en el modelo financiero y técnico confirman la hipótesis central de la investigación: la implementación de un sistema de riego por pivote central en la ganadería de ceba del Meta mejora sustancialmente la productividad forrajera, la eficiencia animal y la rentabilidad financiera. La TIR del 34,36 % y el VAN positivo de \$4.524 millones de pesos reflejan la capacidad del proyecto para generar valor por encima del costo de capital (WACC 15,53 %). En términos productivos, el sistema alcanzó una productividad forrajera

de 50 t MS/ha·año, una carga animal de 10 UGG/ha y una ganancia diaria de peso (ADG) de 1 kg/animal·día, resultados que evidencian la viabilidad técnica del riego.

Sumado a esto, estos hallazgos son coherentes con los reportados por De la Ossa et al. (2008) en su estudio sobre producción de carne en pasturas irrigadas y fertilizadas de *Brachiaria* híbrido cv. Mulato II en el valle del Sinú, donde la irrigación permitió duplicar la disponibilidad de biomasa y elevar la carga animal de 2,5 a 8 UGG/ha, con ganancias diarias de peso cercanas a 1,1 kg/animal·día. Por otro lado, de forma similar, la literatura internacional sobre sistemas de riego por pivote (USDA, 2015; Economics of Irrigation Systems, Texas A&M, 2011; Nelson Irrigation, 2022) sostiene que la estabilidad de la oferta de forraje y el control de la cantidad de agua aplicada incrementan la eficiencia del uso del agua y permiten mantener un crecimiento constante de los pastos durante la época seca, reduciendo la dependencia estacional de las lluvias. En ese mismo sentido, la FAO (2021) plantea que la gestión del riesgo climático mediante la tecnificación hídrica es una estrategia clave para la sostenibilidad de los sistemas ganaderos tropicales, al aumentar la resiliencia productiva y financiera frente a la variabilidad climática.

Por otra parte, la interpretación de los resultados financieros sugiere que la tecnificación hídrica es rentable siempre que se cumplan condiciones de manejo adecuadas. Por lo tanto, el análisis de sensibilidad evidenció que la mortalidad y el peso final de los animales son las variables más determinantes sobre la estabilidad del flujo de caja. Un incremento del 3 % en la mortalidad reduce la TIR a 15,6 % y el VAN a \$1,240 millones. Con respecto a lo anterior, la FAO Investment Learning Platform (2021), considera los riesgos zootécnicos y sanitarios como los de mayor impacto en la sostenibilidad económica del sector pecuario, no obstante, con el sistema de riego por pivote central se busca mitigar o reducir estas tasas a la menor proporción posible.

Ahora bien, los resultados sobre el peso final (430–500 kg) y su relación con la rentabilidad son consistentes con los reportes de Cattle adapted to tropical and subtropical environments (PMC, 2021), donde se describe que el control nutricional y la disponibilidad continua de pasturas irrigadas permiten alcanzar pesos de sacrificio superiores a 480–500 kg con menores edades y mejores índices de conversión alimenticia.

En cuanto al comportamiento de los precios del ganado, el modelo incorporó la proyección exponencial elaborada a partir de datos históricos de FEDEGÁN (Precios, 2025) y estudios de mercado como Modelos de forecasting aplicado al precio base de subastas ganaderas y estacionalidad en el mercado colombiano. Esta decisión metodológica permitió representar de forma realista la tendencia de largo plazo del mercado bovino colombiano, caracterizada por una creciente valorización del ganado en pie. Los resultados muestran que variaciones moderadas ($\pm 3,5\%$) en los precios de compra o venta no afectan significativamente la rentabilidad, lo que evidencia resiliencia económica frente a la volatilidad cíclica descrita por Temas Agrarios (2019) en sus estudios sobre transmisión de precios entre mercados regionales.

Desde el punto de vista financiero y de ingeniería, el WACC del 15,53 % se encuentra dentro del rango recomendado para proyectos agrícolas con componente tecnológico, según el USDA (2015) y las guías de análisis de costos del ciclo de vida del WBDG (2020) y de MSU Extension (2017), donde las inversiones en pivotes presentan costos de capital recuperables en plazos de 5 a 7 años. En el presente estudio, el payback se estima en menos tiempo, lo que ubica al proyecto dentro de los estándares de eficiencia para sistemas de riego eléctricos de mediana escala (Center Pivot Electric, NCSU, 2017). No obstante, después de los análisis de sensibilidad se puede evidenciar un payback del proyecto arraigado a los estudios previos. Es por ello, que este resultado valida que el costo financiero calculado a partir de la información recopilada de empresas comparables y las tasas locales del Banco Agrario de Colombia (2025) se encuentran en un panorama establecido en el sector.

Finalmente, la comparación con las guías de evaluación de costos de riego del USDA y Texas A&M (MF2242, 2011) arroja que los valores obtenidos en el proyecto son representativos y replicables en otros contextos ganaderos de clima tropical húmedo. Por lo tanto, los resultados confirman que el pivote central es una estrategia efectiva de modernización, resiliencia y eficiencia económica, que permite al productor del Meta incrementar la rentabilidad, reducir la vulnerabilidad climática y avanzar hacia una ganadería tecnificada con un enfoque ambientalmente sostenible.

Por otro lado, las entrevistas realizadas a productores ganaderos permitieron identificar una percepción generalizada sobre la dependencia climática como principal limitante de la productividad bovina. La estacionalidad en la oferta de forraje, marcada por periodos de sequía severa y lluvias intensas, genera pérdidas significativas en el peso animal y en la capacidad de carga de los potreros. Esta condición reafirma que la disponibilidad estable de alimento es un factor crítico en la rentabilidad de los sistemas ganaderos, especialmente en regiones de alta variabilidad climática. Los productores coinciden en que el riego por pivote central representa una alternativa viable para reducir esa incertidumbre productiva, al permitir mantener el pasto verde y nutritivo durante todo el año, independientemente de las condiciones climáticas.

Así mismo, los resultados reflejan un cambio en la eficiencia productiva derivado de la implementación de sistemas de riego. Los entrevistados reportan incrementos notables en la capacidad de carga animal, al pasar de modelos extensivos con tres o cuatro reses por hectárea a sistemas intensificados con más de diez UGG por hectárea. Este hallazgo evidencia que la tecnificación no solo mejora la productividad (kg de carne por hectárea), sino que también optimiza el uso del suelo y permite alcanzar una mayor rentabilidad para la región, elemento fundamental en el análisis financiero del proyecto.

En cuanto a los costos y mantenimiento, la percepción común es que el pivote central implica una inversión inicial considerable que puede representar una barrera de entrada, especialmente para pequeños productores. Sin embargo, se reconoce que los costos operativos y de mantenimiento son bajos, y que el retorno económico se da en el mediano plazo gracias al aumento sostenido en la productividad forrajera y en las ganancias de peso por animal. Esta visión coincide con la idea de que la viabilidad financiera del sistema depende directamente del equilibrio entre el costo de instalación y el beneficio productivo obtenido.

Por otra parte, los riesgos operativos identificados asociados a fallas eléctricas, averías mecánicas o variaciones de presión se redujeron mediante mantenimiento preventivo y capacitación técnica. Esto refuerza la noción de que la adopción tecnológica requiere no solo inversión en infraestructura, sino también en gestión y

formación del capital humano. Los ganaderos más tecnificados demostraron mayor control sobre estos factores, lo que sugiere que la curva de aprendizaje es decisiva en la sostenibilidad del sistema.

Finalmente, la percepción sobre la calidad nutricional del forraje es uno de los impactos más valorados del pivote central. Los testimonios evidencian mejoras en la proteína cruda, digestibilidad y producción de materia vegetal del pasto, lo cual se traduce en una mayor ganancia diaria de peso (ADG) y mejor conversión alimenticia. En consecuencia, el riego no solo influye en la cantidad de forraje disponible, sino también en su valor nutritivo, potenciando así la eficiencia biológica y económica del sistema productivo.

En síntesis, los hallazgos cualitativos sugieren que la tecnificación mediante riego por pivote central tiene un impacto directo sobre la estabilidad forrajera, la eficiencia productiva y la rentabilidad, siempre que el productor cuente con capacidad de inversión y gestión técnica adecuada. Estos resultados proporcionan una base sólida para complementar el análisis cuantitativo anterior, donde se evaluó de manera objetiva la viabilidad financiera de la inversión y su retorno en el contexto de un proyecto ganadero de 50 hectáreas.

5. Conclusiones

Durante el desarrollo de esta investigación se evidencio que la implementación de un sistema de riego por pivote central es una alternativa técnica, productiva y financieramente viable para incrementar la productividad y la rentabilidad de la ganadería de ceba. A lo largo del proceso se logró cumplir plenamente el objetivo general del estudio, demostrando que la tecnificación hídrica no solo mejora el rendimiento forrajero y la eficiencia biológica del ganado, sino que también genera retornos económicos sostenibles a largo plazo.

Ahora bien, los resultados cuantitativos obtenidos en la modelación financiera reflejan una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 34,36% y un Valor Actual Neto (VAN) positivo de \$4.524 millones, valores que superan ampliamente el Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC) estimado en 15,53 %. Con este diferencial se demuestra la capacidad del proyecto para crear valor económico, garantizando un retorno atractivo sobre la inversión inicial, estimada en \$1.250 millones de pesos. En términos financieros, la relación costo beneficio demuestra que el sistema no solo recupera la inversión en un periodo inferior a siete años, sino que continúa generando excedentes significativos durante la proyección de diez años.

Por otra parte, desde el punto de vista técnico y productivo, los resultados confirman un incremento considerable en los principales indicadores de eficiencia ganadera. Por ejemplo, la productividad forrajera alcanza las 50 toneladas de materia seca por hectárea al año, la carga animal aumentó de 2 a 10 unidades ganaderas por hectárea (UGG/ha) y la ganancia diaria de peso (ADG) se duplicó, pasando de 0,5–0,6 kg/día a 1 kg/día por animal. Estos valores confirman la hipótesis inicial: el riego tecnificado permite garantizar una oferta constante de alimento de alta calidad, reducir la estacionalidad climática y estabilizar el crecimiento productivo del hato. Por lo tanto, se logra optimizar la conversión alimenticia, puesto que se acorta el ciclo de ceba.

En el componente cualitativo, las entrevistas realizadas a productores, técnicos y expertos del sector coincidieron en reconocer que la mayor limitante de la ganadería del Meta son los climas extremos, los cuales generan estacionalidades forrajeras y pérdidas de peso durante los periodos secos. Ahora bien, la adopción de un sistema de riego por pivote central fue percibida como una herramienta de transformación productiva, ya que, es

capaz de asegurar la disponibilidad de pasto durante todo el año, estabilizar la dieta animal y reducir la vulnerabilidad ante las sequías. De igual forma, los ganaderos destacaron que, aunque la inversión inicial es elevada, los costos de operación y mantenimiento son bajos y el retorno se hace evidente con el aumento de la productividad y la reducción de los gastos en suplementos alimenticios.

Cabe señalar, que el análisis de sensibilidad permitió identificar los factores críticos de éxito del proyecto. Se comprobó que el peso final del animal y la mortalidad del hato son las variables con mayor impacto sobre los resultados económicos. Una variación del 3 % en la mortalidad o en el peso final puede modificar de forma significativa el VAN y la TIR, lo cual resalta la importancia de una gestión zootécnica rigurosa, basada en control sanitario, manejo nutricional y mantenimiento preventivo del sistema. En contraste, las fluctuaciones moderadas en los precios de compra o venta del ganado mostraron una elasticidad baja, lo que demuestra que la rentabilidad del proyecto depende más de la eficiencia productiva que de las condiciones del mercado.

Por otra parte, en la comparación con investigaciones previas, los hallazgos coinciden con los resultados reportados por De la Ossa et al. (2008), quienes documentaron incrementos del 80% -100% en la producción de biomasa y ganancias de peso superiores a 1 kg/día en sistemas irrigados con *Brachiaria* híbrido cv. Mulato II. También se alinean con los estudios de Texas A&M (2011) y del USDA (2015), que concluyen que los sistemas de pivote central son más rentables que los de riego superficial, con costos de operación menores y un mejor aprovechamiento del recurso hídrico. Asimismo, la FAO (2021) sostiene que la tecnificación hídrica es un instrumento clave para la adaptación climática de los sistemas ganaderos tropicales, al permitir que las unidades productivas mantengan su estabilidad económica y ecológica incluso bajo condiciones de variabilidad pluviométrica extrema.

En síntesis, este estudio demuestra que la tecnificación mediante el sistema de riego por pivote central puede transformar la estructura productiva de la ganadería del Meta. La estabilidad forrajera, el incremento en la capacidad de carga y la mayor eficiencia en la conversión alimenticia se traducen en una ganadería más

competitiva, rentable y sostenible, capaz de afrontar los desafíos climáticos y económicos del sector agropecuario colombiano.

5.1 Recomendaciones

Los resultados de este estudio tienen importantes implicaciones para la academia y el sector agrícola. En el ámbito académico, estos hallazgos mejoran nuestra comprensión de la relación entre la productividad forrajera, la rentabilidad financiera y la gestión de riesgos en los sistemas ganaderos tropicales, al ofrecer un modelo analítico que integra factores técnicos, económicos y ambientales. Este enfoque integral puede ser replicado y adaptado por futuros investigadores que busquen evaluar tecnologías de intensificación sostenible o formular políticas de desarrollo rural basadas en datos cuantitativos.

En el contexto empresarial, estos resultados animan a los agricultores a considerar las tecnologías de gestión del agua como inversiones estratégicas, en lugar de gastos. Los datos demuestran que el riego por pivote central es una herramienta capaz de garantizar una producción estable y una rentabilidad financiera sostenible, proporcionando así un respaldo fiable para la toma de decisiones ante la gran incertidumbre climática. Se anima a los productores a evaluar la viabilidad de implementar estos sistemas en explotaciones con suficientes recursos hídricos, priorizando las explotaciones ganaderas capaces de integrar la fertirrigación, la rotación de cultivos y prácticas de fertilización eficientes.

Del mismo modo, se sugiere fortalecer los mecanismos de financiamiento agropecuario mediante programas de crédito con tasas preferenciales, dirigidos a la tecnificación sostenible de la ganadería. Instituciones como el Banco Agrario, Finagro y las secretarías de desarrollo rural departamentales podrían diseñar líneas de inversión específicas para sistemas de riego tecnificado, acompañadas de asesoría técnica y planes de capacitación. Este acompañamiento permitiría reducir las barreras de entrada y acelerar la adopción tecnológica entre pequeños y medianos productores, quienes representan más del 80 % del total de ganaderos del país.

Además, estos resultados subrayan la necesidad de fortalecer las capacidades técnicas locales. La capacitación en el uso y mantenimiento de equipos, el control de la presión, la gestión energética y la

planificación del riego, esto se vuelve indispensable para garantizar la durabilidad del sistema y evitar sobre costos por fallas operativas. La capacitación de técnicos rurales especializados en riego ganadero debería ser una prioridad para los programas nacionales de extensión agrícola, ya que repercute directamente en la productividad y la sostenibilidad de estos sistemas.

Entre las principales limitaciones de esta investigación se reconoce que la modelación financiera se desarrolló sobre la base de datos estimados y proyecciones ajustadas al contexto regional, lo que limita la generalización de los resultados. No se contó con series de tiempo extensas de unidades productivas reales operando bajo pivote en el Meta, ni se incluyeron escenarios de simulación climática o de variación en precios internacionales de insumos. En este sentido, se propone que futuras investigaciones incorporen datos empíricos longitudinales y análisis de huella hídrica, energética y de carbono, con el fin de cuantificar los impactos ambientales y comparar la eficiencia entre diferentes tecnologías de riego.

De igual forma, resultaría pertinente explorar modelos de financiamiento cooperativo o asociativo que permitan a los pequeños productores acceder a estas tecnologías mediante esquemas de cofinanciación o arrendamiento de equipos. Finalmente, se recomienda avanzar en la evaluación de beneficios ecosistémicos asociados al uso del riego tecnificado, tales como la reducción de la deforestación, la mejora del suelo y el uso racional del agua.

En conclusión, la investigación no solo demuestra la viabilidad técnica y financiera del sistema de riego por pivote central, sino que abre un horizonte de posibilidades para el desarrollo rural sostenible en Colombia. Su implementación representa una oportunidad real de modernizar la ganadería, reducir su vulnerabilidad climática y fortalecer la competitividad del sector bajo un enfoque integral de productividad, rentabilidad y sostenibilidad ambiental.

5.2 Referencias

- ACES.edu. (s.f.). *Center pivot irrigation system costs and considerations*. Alabama Cooperative Extension System. <https://www.aces.edu/blog/topics/crop-production/center-pivot-irrigation-system-costs-and-considerations/>
- Agris FAO. (2023). *Centro Nacional de Investigaciones de Pastos y Forrajes – Producción ganadera y pasturas en Cuba*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <https://agris.fao.org/search/en/providers/122610/records/64745b65542a3f9f03b4b060>
- Agmanager.info. (s.f.). *How economic factors affect profitability of center pivot irrigation*. Kansas State University. <https://www.agmanager.info/farm-management/farm-economics/how-economic-factors-affect-profitability-center-pivot-irrigation>
- Agrosavia. (2021). *Recomendaciones para la implementación de sistemas de riego en ganadería sostenible*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://www.agrosavia.co>
- Agrosavia. (2021). *Recomendaciones técnicas para sistemas de producción bovina en la Orinoquía colombiana*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://www.agrosavia.co>
- Agrosavia. (2021). *Uso y manejo de sistemas silvopastoriles y forrajes en Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://www.agrosavia.co>
- Agrosavia. (s.f.). *Manejo de pastoreo en el Piedemonte llanero para sistemas intensivos*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.
- AgriLifebookstore.org. (s.f.). *Economics of irrigation systems*. Texas A&M AgriLife Extension. <https://agrilifebookstore.org/products/economics-of-irrigation-systems>
- Banco Agrario de Colombia. (s.f.). *Tasas y tarifas*. <https://www.bancoagrario.gov.co>
- Bondaruk, V., Oñatibia, G., Fernández, R., & Yahdjian, L. (2022). *Estudian el impacto de las sequías en la producción de forraje en pastizales*. INTA Santa Cruz.
- Cals.ncsu.edu. (2017). *Center pivot electric – Energy costs and efficiency*. North Carolina State University. <https://cals.ncsu.edu/are-extension/wp-content/uploads/sites/13/2017/02/Center-Pivot-Electric.pdf>
- Canr.msu.edu. (s.f.). *Irrigation equipment costs*. Michigan State University. <https://www.canr.msu.edu/resources/irrigation-equipment-costs>
- Chacón, G., & Rivera, J. (2020). Sistemas de producción forrajera y su relación con la capacidad de carga animal en sistemas tropicales. *Ciencia y Desarrollo*, 18(1), 45–58.
- CIAT/MADR. (s.f.). *Planificación de la carga animal bovina en función del manejo y rotación de potreros con enfoque sostenible*. Centro Internacional de Agricultura Tropical; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Contexto Ganadero. (2017). *Funcionalidad del riego con pivote en la ganadería*.

- CSU Extension. (s.f.). *Manejo de parcelas pequeñas de pastos durante y después de la sequía* (No. 6.112). Colorado State University.
- DANE. (2021). *Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA)*. <https://www.dane.gov.co>
- De la Cruz Tun Dzul, D. E., Góngora Echeverría, V. S., Alcocer Yamanaka, V. H., & Chávez Morales, J. (2010). Evaluación técnica y económica del manejo de equipos de pivote central. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 33(2).
- Directives.sc.egov.usda.gov. (s.f.). *Irrigation system design and evaluation*. United States Department of Agriculture. <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17762.wba>
- FAO. (2020). *La ganadería y los sistemas alimentarios sostenibles en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org>
- FAO. (2023). *Panorama de la tecnificación ganadera en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/americas/publicaciones>
- FAO. (s.f.). *Investment learning platform: Risk analysis*. <https://www.fao.org/investment-learning-platform/themes-and-tasks/risk-analysis/en/>
- FDRS. (2025). Economic analysis of irrigation investment under uncertainty. *Journal of Food Distribution Research*, 56(1–2), 15–28. https://www.fdrsinc.org/wp-content/uploads/2025/04/JFDR56.1_2_Kunwar.pdf
- FEDEGAN. (2022). *Informe de gestión 2022*. Federación Colombiana de Ganaderos. <https://www.fedegan.org.co>
- FEDEGAN. (2022). *Informe de gestión sector ganadero 2021–2022*. Federación Colombiana de Ganaderos. <https://www.fedegan.org.co>
- FEDEGAN. (2022). *Informe técnico de productividad ganadera en Colombia*. Federación Colombiana de Ganaderos. <https://www.fedegan.org.co>
- FEDEGAN. (2024). *Estadísticas ganaderas nacionales por departamento*. <https://www.fedegan.org.co/informacion-estadistica>
- Fedegan. (s.f.). *Precios del ganado*. Federación Colombiana de Ganaderos. <https://www.fedegan.org.co>
- Frontiers. (2019). ENSO y pérdidas del sector ganadero en Colombia. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3. <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2019.00061/full>
- Fundación Horizonte Verde & The Nature Conservancy. (2020). *Ganadería sostenible en Colombia: Retos y oportunidades*. <https://www.tnc.org>
- Gnecco Morón, A. C., & Zuleta Ardila, M. E. (2023). *Sistema de riego tecnificado para mejorar el proceso productivo de ganadería en las fincas del municipio La Paz – Cesar* [Trabajo de grado, Universidad de Santander]. <https://repository.udes.edu.co>

- Gnecco Morón, J. A., & Zuleta Ardila, E. (2023). *Modelo de gestión productiva y financiera para el mejoramiento de sistemas ganaderos en el Caribe seco colombiano* [Documento institucional]. Universidad del Cesar. [Fuente no disponible en línea].
- Holmann, F., Rivas, R., & Loker, R. (2019). *Evaluación bioeconómica de la intensificación ganadera en América Latina*. Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Horizonte Verde & WWF Colombia. (2020). *Guía para la producción sostenible: Herramientas para fincas ganaderas*. <https://horizonteverde.org.co/wp-content/uploads/2020/02/PDF-final-GUIA-WWF-FHV.pdf>
- Lubbock.tamu.edu. (2011). *Economic comparison of SDI and center pivots (MF2242)*. Kansas State University; Texas A&M University. <https://lubbock.tamu.edu/files/2011/10/mf2242.pdf>
- Mena, R., Soto, R., & Rojas, H. (2018). Métodos de estimación de la producción de biomasa forrajera en pasturas. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 481–496.
- Ndsu.edu. (s.f.). *Irrigation FAQs*. North Dakota State University. <https://www.ndsu.edu/agriculture/extension/publications/irrigation-faqs>
- Nelson Irrigation. (s.f.). *What affects the cost of a center pivot irrigation system*. <https://www.nelsonirrigation.com/blog/what-affects-the-cost-of-a-center-pivot-irrigation-system>
- Ouazaa, K., López, C., & Vargas, C. (s.f.). *Evaluación técnica de sistemas de riego por pivote central en zonas ganaderas de Colombia*. AGROSAVIA. [Referencia interna].
- Ouazaa, S., Ipaz Cuastumal, C. M., Terán-Chaves, C. A., & Brochero Aldana, G. A. (s.f.). *Sistemas de riego por pivote central para la producción de biomasa a gran escala en el Caribe seco*. Universidad de Córdoba; Agrosavia. <https://www.agrosavia.co>
- Pacheco Pérez, F. L., Cocunubo, A. A., & Olarte Buriticá, E. (2019). Evaluación de la eficiencia técnica de predios ganaderos en el Piedemonte llanero colombiano. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 22(1), 1–10. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1172>
- Pacheco Pérez, R., Cocunubo, J., & Olarte Buriticá, C. (2019). Manejo del estrés hídrico en sistemas de ceiba en zonas de sabana tropical. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 32(4), 295–312. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rciencia>
- Parra. (2004). *Proyecto GEF G5 – Sabana inundable y ganadería, opción productiva de conservación en la Orinoquía*.
- Peñuela, et al. (2012). *Proyecto GEF G5 – Sabana inundable y ganadería, opción productiva de conservación en la Orinoquía*.
- Pérez-Hernández, M. H., González-Ronquillo, E., & Vázquez-García, M. D. C. (2023). Relación entre la eficiencia alimentaria y la ganancia diaria de peso en ganado de carne: Implicaciones metabólicas. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(2), e2653.

- PMC – PubMed Central. (2022). Cattle adapted to tropical and subtropical environments: Social, nutritional, and carcass quality considerations. *Frontiers in Veterinary Science*, 9. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC/>
- Redalyc. (2014). Producción de carne en pasturas irrigadas y fertilizadas de *Brachiaria híbrido cv. Mulato II* en el valle del Sinú. *Revista MVZ Córdoba*, 19(1), 4007–4016. <https://www.redalyc.org/journal/573/57328347004/html/>
- Repositorio Universidad Nacional. (s.f.). *Modelos de forecasting aplicado a precio base de subastas ganaderas*. [Referencia incompleta].
- Ruiz-Hernández, A., Vargas-Hernández, M., & Gómez-Martínez, M. (2021). Determinación de la capacidad de carga con base en la oferta forrajera en sistemas de pastoreo rotacional. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(3), 757–772.
- Scielo Colombia. (2008). Producción de carne en pasturas irrigadas y fertilizadas de *Brachiaria híbrido cv. Mulato II*. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 21(1), 25–32.
- Temas Agrarios. (2012). Transmisión de precios entre mercados regionales ganaderos de Colombia. *Temas Agrarios*, 17(2), 58–70.
- Universidad de Córdoba. (2015). *Estacionalidad, ciclos y volatilidad en los precios del ganado macho de levante en Montería, Colombia*. *Temas Agrarios*, 20(2), 32–42.
- Universidad de Córdoba. (2016). *Comportamiento de los precios del ganado hembra de levante de primera clase en Montería y Sincelejo (Colombia)*. *Temas Agrarios*, 21(2), 48–60.
- USDA. (2024). *Livestock and Poultry: World Markets and Trade – April 2024 Report*. United States Department of Agriculture. <https://www.fas.usda.gov/data/livestock-and-poultry-world-markets-and-trade>
- USDA. (s.f.). *Life-cycle cost analysis (LCCA)*. Whole Building Design Guide. <https://www.wbdg.org/resources/life-cycle-cost-analysis-lcca>
- USDA ARS. (s.f.). *Center pivot design*. United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service. <https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/21563/center%20pivot%20design%202.pdf>