



El canterizador como estrategia de innovación agrícola en Riopaila Castilla: impacto en la eficiencia productiva, la sostenibilidad y la generación de valor compartido

Luis Manuel Grajales Mejía

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

Septiembre de 2025

El canterizador como estrategia de innovación agrícola en Riopaila Castilla: impacto en la eficiencia productiva, la sostenibilidad y la generación de valor compartido

Luis Manuel Grajales Mejía

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de Proyectos

Asesora

Doris Amanda Rosero García

Microbióloga, M.Sc., PhD.

Posdoctorado en Microbiología Ambiental

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

Septiembre de 2025

Contenido

Lista de tablas	5
Lista de figuras.....	6
Lista de anexos.....	7
Resumen.....	8
Abstract.....	9
Introducción	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.1 Descripción del problema.....	12
1.2 La pregunta de investigación.....	13
1.3 Los objetivos de investigación.....	13
1.3.1 Objetivo general.....	13
1.3.2 Objetivos específicos	13
1.4 Justificación de la investigación.....	14
2. MARCO DE REFERENCIA.....	15
2.1. Marco de Antecedentes	15
2.2. Marco Teórico	16
2.2.1. Innovación tecnológica en la agricultura	16
2.2.2. Tecnologías de mecanización agrícola.....	17
2.2.3. El canterizador como innovación disruptiva en la agroindustria de la caña	18
2.3. Marco normativo	18
3. METODOLOGÍA.....	19
3.1. Enfoque y alcance de la investigación.....	19
3.2. Población y muestra.....	19
3.2.1. Definición de la población	19
3.2.2. Cálculo y selección de la muestra	20
3.3. Instrumento(s).....	23
3.4. Descripción de procedimientos	25
3.5. Análisis de información.....	25

3.6. Codificación de los resultados:.....	26
3.7. Consideraciones éticas.....	28
4. RESULTADOS	31
4.1. Relación de resultados del primer objetivo específico	31
4.2. Relación de resultados del segundo objetivo específico	34
4.3. Relación de resultados del tercer objetivo específico.....	40
5. DISCUSIÓN	41
6. CONCLUSIONES.....	44
7. RECOMENDACIONES	46
Referencias.....	48

Lista de tablas

Tabla 1. Definición de población objetivo y muestra seleccionada.....	20
Tabla 2. Categorías y variables de la encuesta.....	24
Tabla 3. Codificación de los resultados	26
Tabla 4. Codificación de la encuesta. Preguntas del 1 al 11	28

Lista de figuras

Figura 1. Eficiencia del canterizador frente a métodos tradicionales	32
Figura 2. Comparación del canterizador frente a métodos tradicionales de preparación.....	32
Figura 3. En términos de tiempo, el canterizador permite realizar la labor más rápido.....	33
Figura 4. Reducción en el consumo de combustible con el uso del canterizador	34
Figura 5. Mejoras en el desarrollo del cultivo tras el uso del canterizador.....	35
Figura 6. Capacitación formal recibida para el uso del canterizador	36
Figura 7. Conocimiento sobre el funcionamiento del canterizador	36
Figura 8. Condiciones del suelo con mejores resultados realizados por el canterizador	37
Figura 9. Frecuencia de uso del canterizador en las labores de campo.....	38
Figura 10. Problemas técnicos	39
Figura 11. Recomendaciones para mejorar el uso e implementación del canterizador	39
Figura 12. Impacto económico de la adopción del canterizador.....	40
Figura 13. Implementación del canterizador en la preparación del suelo del Ingenio	41

Lista de anexos

Anexo 1. Encuesta	55
-------------------------	----

Resumen

La presente investigación analiza la implementación del canterizador como tecnología agrícola en la preparación del suelo en proveedores del Ingenio Riopaila Castilla. El objetivo general fue determinar cómo la adopción de esta innovación contribuye a mejorar la eficiencia productiva y la sostenibilidad del proceso agrícola, generando valor compartido tanto para la empresa como para sus proveedores. Se empleó un enfoque cuantitativo, descriptivo y transversal, utilizando una encuesta estructurada aplicada a proveedores seleccionados. Los resultados evidencian que la mayoría de los encuestados percibe mejoras en la eficiencia operativa, reducción de costos y optimización de la preparación del suelo. Sin embargo, se identificaron desafíos relacionados con la operación en suelos húmedos y la necesidad de ajustes técnicos y capacitación. La investigación concluye que el canterizador tiene un impacto positivo en la productividad y sostenibilidad del proceso agrícola, siempre que su implementación se realice de manera gradual y acompañada de estrategias de adopción y fortalecimiento técnico

Palabras clave: Canterizador, caña de azúcar, innovación agrícola, eficiencia productiva, sostenibilidad.

Abstract

This research analyzes the implementation of the sloping bed as an agricultural technology for soil preparation among suppliers of the Riopaila Castilla Sugar Mill. The overall objective was to determine how the adoption of this innovation contributes to improving the productive efficiency and sustainability of the agricultural process, generating shared value for both the company and its suppliers. A quantitative, descriptive, and cross-sectional approach was employed, utilizing a structured survey administered to a select group of suppliers. The results show that the majority of respondents perceive improvements in operational efficiency, cost reduction, and soil preparation optimization. However, challenges related to operation in humid soils and the need for technical adjustments and training were identified. The research concludes that the sloping bed has a positive impact on the productivity and sustainability of the agricultural process, provided its implementation is gradual and accompanied by adoption strategies and technical strengthening.

Keywords: Canterizador, sugarcane, agricultural innovation, productive efficiency, sustainability.

Introducción

La agroindustria azucarera en Colombia ha venido enfrentando importantes desafíos para mantener su competitividad en un contexto globalizado que exige mayor eficiencia, sostenibilidad y uso racional de los recursos. Uno de los aspectos críticos dentro de este sector es la preparación del suelo para la siembra de caña de azúcar, ya que de ella dependen factores determinantes como el rendimiento del cultivo, la optimización de los recursos y la conservación ambiental. A pesar de los avances tecnológicos, aún persisten prácticas tradicionales que generan altos costos, excesivo consumo de combustible y compactación del suelo, lo que impacta negativamente la productividad y la sostenibilidad del sector (González, Pérez, & Morales, 2021).

En este contexto surge el canterizador, una tecnología de subsolado y preparación profunda que promete mejorar la infiltración de agua, reducir la compactación y favorecer el desarrollo radicular del cultivo. Su implementación responde a las tendencias de innovación agrícola impulsadas tanto por políticas de sostenibilidad internacional, como las promovidas por la FAO (2022), como por esfuerzos nacionales en torno a la modernización de la agroindustria cañera (ICA, 2023). No obstante, su adopción requiere inversiones, capacitación y ajustes técnicos que justifican la necesidad de un estudio riguroso que permita valorar su pertinencia.

Durante el desarrollo de esta investigación, se analizó el caso del Ingenio Riopaila Castilla, empresa que en los últimos años ha apostado por incorporar tecnologías innovadoras en sus procesos agrícolas. El estudio se enfocó en evaluar la eficiencia productiva, la sostenibilidad y el

valor compartido que puede generar la implementación del canterizador. Para ello, se diseñó y aplicó una encuesta estructurada dirigida a los proveedores de caña de azúcar vinculados al ingenio, con más de un año de experiencia en labores agrícolas, lo que aseguró que los participantes tuvieran el conocimiento suficiente de las prácticas tradicionales y los retos de la mecanización. La muestra estuvo conformada por 30 proveedores, equivalente al 81% de la población objetivo, lo que garantizó la representatividad y fiabilidad de los resultados obtenidos.

Los datos recolectados fueron procesados con técnicas estadísticas descriptivas, permitiendo identificar percepciones, beneficios y limitaciones del canterizador, y posteriormente contrastarlos con la literatura existente sobre mecanización agrícola. Los resultados evidenciaron que la mayoría de los proveedores considera que el canterizador aporta eficiencia operativa, reducción en el consumo de combustible y menor desgaste de maquinaria, aunque se señalaron dificultades en su operación en suelos húmedos y la necesidad de capacitación técnica.

En concordancia con los antecedentes revisados, los hallazgos de este estudio aportan elementos clave para orientar al Ingenio Riopaila Castilla en la toma de decisiones relacionadas con la adopción de tecnologías agrícolas sostenibles. Asimismo, se concluye que la implementación progresiva del canterizador, acompañada de capacitación y esquemas de financiamiento, puede convertirse en un factor estratégico para mejorar la productividad y sostenibilidad del sector cañero en el Valle del Cauca, generando a su vez valor compartido para la empresa y sus proveedores.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

El proceso de preparación del suelo para el cultivo de caña de azúcar es una actividad determinante para la productividad y la sostenibilidad agrícola. En el Ingenio Riopaila Castilla, las prácticas tradicionales de esta labor presentan limitaciones significativas: alta demanda de tiempo, consumo excesivo de combustible, compactación del suelo y costos operativos elevados (González, Pérez, & Morales, 2021). Estas condiciones no solo afectan la eficiencia productiva, sino que también generan impactos ambientales adversos, como la reducción de la infiltración de agua y la degradación de la estructura del suelo (FAO, 2022).

Para responder a este reto, surge la propuesta de incorporar el canterizador, una tecnología agrícola diseñada para realizar labores de subsolado y preparación profunda, que promete mejorar la aireación, reducir la compactación y optimizar la retención hídrica (Cortés & Ramírez, 2023). Sin embargo, su implementación implica inversiones significativas en maquinaria y operación, además de ajustes en la logística agrícola, lo que plantea interrogantes sobre su viabilidad económica, social y ambiental.

En este contexto, el problema se articula con tres ejes de investigación: innovación, porque se busca introducir tecnologías que aumenten la eficiencia agrícola; sostenibilidad empresarial y valor compartido, dado que la mecanización debe alinearse con prácticas responsables que minimicen impactos ambientales y beneficien a las comunidades; y gerencia de proyectos de inversión, ya que es necesario evaluar el canterizador como un proyecto integral que asegure rentabilidad y sostenibilidad en el largo plazo (López & Andrade, 2020; Martínez et al., 2022).

1.2 La pregunta de investigación

¿Cómo contribuye la implementación del canterizador en el Ingenio Riopaila Castilla a mejorar la eficiencia productiva y la sostenibilidad del proceso agrícola, generando valor compartido para la empresa y sus proveedores?

1.3 Los objetivos de investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar como la implementación del canterizador en el ingenio Riopaila Castilla contribuye a mejorar la eficiencia productiva y la sostenibilidad del proceso agrícola, generando valor compartido tanto para la empresa como para sus proveedores

1.3.2 Objetivos específicos

Analizar los cambios en la eficiencia de la labor de la preparación de suelos tras la implementación del canterizador en comparación con métodos tradicionales

Identificar los beneficios y limitaciones técnicas del canterizador frente a los métodos tradicionales de preparación de suelo en cultivos de caña de azúcar.

Evaluar el impacto económico de la adopción del canterizador mediante un análisis costo-beneficio.

1.4 Justificación de la investigación

En el contexto actual, la presión sobre los sistemas agrícolas para ser más productivos, sostenibles y resilientes ante el cambio climático exige que las organizaciones incorporen tecnologías que optimicen sus procesos sin comprometer los recursos naturales. En este sentido, herramientas como el canterizador representan una oportunidad para mejorar la eficiencia en la preparación del suelo, una etapa fundamental en el rendimiento del cultivo. Sin embargo, la adopción de nuevas tecnologías sin una evaluación rigurosa puede generar incertidumbres operativas, inversiones poco rentables o impactos no deseados sobre el entorno. De allí surge la necesidad de investigar, medir y documentar con precisión los efectos del uso del canterizador, para asegurar una toma de decisiones fundamentada en evidencia.

Desde el punto de vista institucional, el Ingenio Riopaila Castilla tiene una larga trayectoria en la modernización de sus procesos y en la implementación de prácticas sostenibles en sus más de 14.800 hectáreas sembradas. La investigación propuesta ofrece al ingenio una herramienta valiosa de diagnóstico que permitirá determinar con claridad si el uso del canterizador aporta mejoras en términos de eficiencia operativa, conservación del suelo, reducción de costos o incremento del rendimiento del cultivo. Asimismo, los resultados podrán orientar la formulación de protocolos técnicos, la capacitación del personal y la toma de decisiones estratégicas para la incorporación de nuevas tecnologías agrícolas.

La comunidad regional también se ve favorecida. La optimización de los procesos agrícolas impacta directamente en la competitividad del sector, en la generación de empleo de calidad, en el uso racional de los recursos naturales y en la mejora de las condiciones de vida de las poblaciones que dependen del agro como sustento económico. Una operación más eficiente

por parte del Ingenio Riopaila Castilla se traduce en mayores oportunidades de desarrollo para el Valle del Cauca, especialmente en zonas rurales donde la caña es el principal cultivo.

Para la **Especialización y la UNIMINUTO Virtual**, el desarrollo de este trabajo aporta al posicionamiento institucional como espacio académico que promueve la formación práctica, el compromiso con el desarrollo regional y la producción de conocimiento aplicado. A través de esta investigación se promueve la interacción universidad-empresa-comunidad, uno de los pilares fundamentales de la educación superior contemporánea, especialmente en programas orientados al desarrollo sostenible, la innovación y el fortalecimiento del tejido productivo local.

Esta investigación se justifica por su pertinencia técnica y su relevancia operativa. No solo responde a una necesidad concreta del Ingenio Riopaila Castilla, sino que también genera valor para el sector agrícola, la academia, los estudiantes y la sociedad en general, al ofrecer evidencia confiable para la adopción tecnológica responsable, sostenible y eficiente en la agricultura colombiana.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Marco de Antecedentes

García-Pérez et al. (2024) realizaron un diagnóstico del estado de la mecanización en bases productivas cañeras de la provincia de Cienfuegos, Cuba. Mediante encuestas aplicadas a 111 personas, incluidos miembros de consejos directivos y obreros calificados identificaron deficiencias en el estado de los equipos, la gestión del mantenimiento y la calidad de los trabajos realizados.

Mejía Varela & Saldarriaga Carmona (2013) analizaron las implicaciones económicas y socioambientales de la mecanización del corte de caña en el municipio de La Virginia y el corregimiento Caimalito (Risaralda, Colombia). Aplicaron una encuesta a 76 corteros de caña, lo que permitió evidenciar impactos en el empleo, el consumo de recursos naturales y la percepción de rentabilidad.

López-Bravo et al. (2022) evaluaron los efectos de la cosecha mecanizada sobre las propiedades físicas del suelo en tres unidades de producción en Villa Clara, Cuba. Aunque el enfoque principal fue técnico, complementaron el análisis con encuestas a operarios y técnicos agrícolas para conocer su percepción sobre el impacto de la maquinaria en la productividad y el manejo del cultivo.

Estos antecedentes respaldan el uso de la encuesta como herramienta válida para explorar la percepción de los actores involucrados en procesos de mecanización agrícola, especialmente en cultivos industriales como la caña de azúcar. Además, permiten contextualizar el análisis del canterizador como tecnología emergente en la preparación del suelo, vinculando aspectos de eficiencia, sostenibilidad y valor compartido.

2.2.Marco Teórico

2.2.1. Innovación tecnológica en la agricultura

La innovación en el sector agrícola se entiende como la incorporación de nuevas tecnologías, procesos o herramientas que permitan mejorar la eficiencia productiva, la sostenibilidad y la competitividad del sector. Según Moreddu y Gruère (2019), la innovación

agrícola no solo se centra en aumentar la productividad, sino también en garantizar la sostenibilidad ambiental y social de los sistemas de producción.

En el caso de cultivos industriales como la caña de azúcar, la mecanización ha jugado un papel determinante, ya que facilita labores críticas como la preparación del suelo, la siembra y la cosecha, reduciendo costos operativos y tiempos de ejecución (Torres & Herrera, 2021). Estas innovaciones deben evaluarse como proyectos de inversión, ya que implican costos iniciales significativos, pero pueden generar valor compartido a largo plazo entre empresa, proveedores y comunidad (Martínez, Torres, & Vega, 2022).

2.2.2. Tecnologías de mecanización agrícola

La mecanización agrícola se refiere al uso de máquinas y herramientas diseñadas para optimizar los procesos de producción. Dentro de estas tecnologías, se destacan los implementos de preparación del suelo, que cumplen un rol esencial para asegurar un adecuado desarrollo radicular y maximizar el rendimiento de los cultivos.

Estudios realizados en Colombia y América Latina muestran que las tecnologías de subsolado y labranza profunda favorecen la infiltración de agua, disminuyen la compactación del suelo y mejoran la aireación (González, Pérez, & Morales, 2021; FAO, 2022). Sin embargo, estas tecnologías presentan desafíos asociados al consumo de combustible, costos de mantenimiento y adaptación a las condiciones específicas de cada predio.

2.2.3. El canterizador como innovación disruptiva en la agroindustria de la caña

El canterizador es una tecnología agrícola diseñada para realizar labores de subsolado y preparación profunda del suelo, lo que permite mejorar la infiltración de agua, reducir la compactación y favorecer el desarrollo radicular de la caña (Cortés & Ramírez, 2023). A diferencia de los métodos tradicionales de preparación, el canterizador ofrece ventajas en eficiencia operativa y sostenibilidad, al disminuir el desgaste de maquinaria y optimizar el uso de recursos como el combustible.

En el contexto del Ingenio Riopaila Castilla, su implementación se analiza no solo como una herramienta técnica, sino como un proyecto de innovación agrícola con impacto en la productividad, la sostenibilidad y el valor compartido. Esta visión integral implica evaluar aspectos técnicos, económicos y sociales, considerando que la adopción de nuevas tecnologías debe ser acompañada por capacitación, protocolos de operación y esquemas de financiamiento que garanticen su sostenibilidad a largo plazo (López & Andrade, 2020; Martínez et al., 2022).

2.3. Marco normativo

En Colombia, el marco normativo agrícola está regulado por el ICA (2023), que establece lineamientos para prácticas sostenibles en cultivos de caña, así como por políticas de sostenibilidad promovidas por la FAO (2022). Estos documentos respaldan la pertinencia de implementar tecnologías que reduzcan la degradación del suelo y mejoren la eficiencia energética.

3. METODOLOGÍA

3.1. Enfoque y alcance de la investigación

El enfoque de investigación que enmarca este proyecto es cuantitativo, dado que busca recolectar y analizar datos de manera estructurada para describir objetivamente las percepciones de los proveedores de caña de azúcar del Ingenio Riopaila Castilla frente a la implementación del canterizador como tecnología agrícola. Según Hernández, Fernández y Baptista (2016), el enfoque cuantitativo se caracteriza por ser secuencial, deductivo y por utilizar la medición numérica de variables, análisis estadístico y el uso de instrumentos estandarizados. En concordancia con estas características, el presente estudio emplea una encuesta como instrumento de recolección de datos, construida con preguntas cerradas y abiertas, aplicada a una muestra representativa de proveedores, y cuyos resultados serán analizados mediante técnicas estadísticas descriptivas. Este enfoque permite obtener una visión general y medible de la aceptación y viabilidad del uso del canterizador en el contexto agrícola del ingenio.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Definición de la población

La población objeto de estudio estuvo conformada por los proveedores de caña de azúcar del Ingenio Riopaila Castilla, ubicados en el Valle del Cauca y Cauca, quienes realizan labores agrícolas bajo diferentes esquemas productivos. Según la información suministrada por el área de abastecimiento del Ingenio, la población total en el momento de la investigación estaba constituida por 30 proveedores activos. Este grupo se compone por

personas naturales y jurídicas que mantienen relaciones contractuales activas con el ingenio para el suministro de caña, y cuyas unidades productivas se encuentran distribuidas en diversas zonas rurales de influencia de la empresa. Se trata, en su mayoría, de productores con amplia experiencia en el sector agrícola, muchos de ellos de edad avanzada y con arraigo en prácticas tradicionales de cultivo. Algunos proveedores residen fuera del país o tienen limitaciones en el manejo de herramientas tecnológicas, lo que representa una característica relevante para el diseño de los mecanismos de recolección de información. Además, la población presenta una diversidad en cuanto al tamaño de sus explotaciones, nivel de tecnificación, capacidad de inversión y vínculo con procesos de mecanización agrícola, aspectos que resultan claves para comprender la aceptación y aplicabilidad del canterizador en sus operaciones.

La población se discrimina de la siguiente manera:

Tabla 1. Definición de población objetivo y muestra seleccionada

Ítem	Descripción	Rol / Unidad de análisis	Cantidad
1	Población objetivo: Proveedores activos del Ingenio Riopaila Castilla (zonas de influencia Valle y Cauca).	Personas naturales y jurídicas proveedoras de caña con unidades productivas operativas.	30
2	Población en observación (muestra efectiva): participantes de la encuesta estructurada.	Proveedores que cumplieron criterios de inclusión (cultivo vigente, disponibilidad digital, consentimiento).	30

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Cálculo y selección de la muestra

El tipo de muestreo utilizado en esta investigación es de tipo censal sobre la población accesible, dado que se encuestó a la totalidad de los 30 proveedores activos que cumplieron los

criterios de inclusión. No obstante, y para efectos de trazabilidad metodológica se presenta a continuación la estimación teórica del tamaño muestral.

Para determinar el tamaño de la muestra se empleó la fórmula de poblaciones finitas

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{(N - 1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

Dónde:

N = tamaño de la población (30 proveedores)

Z = valor correspondiente al nivel de confianza del 95% (1,96).

p = probabilidad de ocurrencia (0,5).

q = 1 - p (0,5).

e = error máximo permitido (0,05).

Reemplazando:

$$\begin{aligned}n &= \frac{30 \cdot (1,96)^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5}{(30 - 1) \cdot (0,05)^2 + (1,96)^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5} \\n &= \frac{30 \cdot 3,8416 \cdot 0,25}{(29 \cdot 0,0025) + 0,9604} \\n &= \frac{30 \cdot 0,9604}{0,0725 + 0,9604} \\n &= \frac{28,812}{1,0329} \approx 27,89 \approx 28\end{aligned}$$

El cálculo arrojó un tamaño muestral de aproximadamente 28 encuestados. No obstante, con el fin de garantizar mayor representatividad, la muestra final correspondió a la totalidad de los 30 proveedores activos, lo que equivale al 100% de la población definida y prioriza a quienes cumplen con los criterios de inclusión.

Los criterios de inclusión establecidos para seleccionar a los participantes fueron los siguientes:

- Ser proveedor activo de caña de azúcar del Ingenio Riopaila Castilla.
- Contar con un cultivo de caña en operación en el último año agrícola.
- Tener disponibilidad para responder la encuesta de forma digital.
- Acceder voluntariamente a participar en el estudio.

Por otro lado, los criterios de exclusión fueron:

- Proveedores que no tengan actualmente lotes sembrados o en proceso de cosecha.
- Personas jurídicas que no cuenten con un representante responsable del área agrícola para responder la encuesta.
- Proveedores con imposibilidad total de comunicación digital (sin acceso a correo electrónico o WhatsApp).
- Casos en los que la información de contacto estuviera desactualizada o fuera inaccesible.

Estos criterios permitieron seleccionar una muestra adecuada dentro de las limitaciones operativas del estudio, asegurando un mínimo nivel de representatividad y pertinencia para el análisis de resultados.

3.3. Instrumento(s)

3.3.1. Encuesta

El instrumento utilizado en esta investigación tuvo como propósito recolectar información sobre el conocimiento, uso, percepción y sugerencias de los proveedores de caña de azúcar del Ingenio Riopaila Castilla frente al uso del canterizador como tecnología agrícola. Con ello se buscó evaluar su pertinencia y eficacia en las labores de preparación del suelo, a partir de la experiencia y opinión directa de los actores involucrados en su implementación.

La encuesta diseñada constó de 12 preguntas, tanto cerradas como abiertas, organizadas en cuatro bloques temáticos. El primer bloque incluyó preguntas relacionadas con la identificación y la capacitación recibida por parte de los proveedores, mientras que el segundo se centró en el nivel de conocimiento y experiencia de uso del canterizador, indagando sobre su aplicación en distintos tipos de suelo, frecuencia de uso y autopercepción del conocimiento técnico. En el tercer bloque se recopilieron percepciones técnicas sobre la eficiencia del equipo frente a los métodos tradicionales, así como su impacto en el consumo de recursos, en el tiempo de ejecución de las labores y en el desarrollo del cultivo. Por último, el cuarto bloque estuvo orientado a recoger opiniones generales, sugerencias y recomendaciones, incluyendo la disposición a adoptar el canterizador de manera permanente.

De acuerdo con estos bloques, se establecieron categorías y variables que orientaron el análisis de los datos. Entre ellas se incluyeron la formación técnica, el conocimiento percibido, las condiciones de operación, la frecuencia de uso, la comparación técnica, la eficiencia operativa, el impacto en el cultivo, las dificultades encontradas, las propuestas de mejora y la disposición hacia la adopción del equipo. Estas variables fueron medidas mediante datos

cualitativos, ordinales, categóricos y binarios, lo que permitió obtener una visión integral y estructurada del fenómeno de estudio.

Tabla 2. Categorías y variables de la encuesta

Categoría	Variable	Tipo de dato
Formación técnica	Capacitación formal	Cualitativo (Sí/No)
Conocimiento percibido	Nivel de conocimiento (escala 1 a 5)	Ordinal
Condiciones de operación	Tipo de suelo con mejor desempeño	Categórico
Frecuencia de uso	Uso del canterizador	Ordinal
Comparación técnica	Eficiencia frente a métodos tradicionales	Cualitativo (abierto)
Eficiencia operativa	Reducción en tiempo y recursos (combustible)	Binario (Sí/No) y No aplica
Impacto en el cultivo	Mejora en desarrollo vegetal	Cualitativo (Sí/No/Otras)
Dificultades y mejoras	Problemas técnicos y recomendaciones	Cualitativo (abierto)
Disposición a la adopción	Implementación permanente	Binario (Sí/No)

Fuente: Elaboración propia

La encuesta fue diseñada y aplicada en formato digital a través de la plataforma Microsoft Forms, lo que facilitó su acceso y diligenciamiento desde dispositivos móviles o computadores, así como la recopilación automatizada de la información. Para garantizar la validez del instrumento, se realizó un juicio de expertos en el que participo un especialista en mecanización agrícola del ingenio. Donde se valoraron aspectos como la claridad, la relevancia, la coherencia interna y la alineación con los objetivos de la investigación mediante una rúbrica específica diseñada para este propósito. (ver anexo No 1).

3.4.Descripción de procedimientos

La aplicación del instrumento de recolección de información se realizó mediante una encuesta digital, distribuida a través de la plataforma Microsoft Forms, entre los días 16 y 17 de julio de 2025. Esta fue enviada a los proveedores seleccionados por medio de correo institucional y mensajes de WhatsApp, con el fin de facilitar el acceso y aumentar la tasa de respuesta, dada la dispersión geográfica y las limitaciones tecnológicas de algunos participantes. La recolección de datos no requirió desplazamiento físico ni encuentros presenciales. Previamente al envío del formulario, se solicitó la autorización verbal y/o escrita del área de gestión de proveedores del Ingenio Riopaila Castilla, que facilitó los contactos actualizados de los participantes. No fue necesaria una capacitación formal, ya que el formato fue diseñado para ser auto aplicable, con instrucciones claras y lenguaje sencillo. Sin embargo, se ofreció acompañamiento telefónico en caso de dudas durante el diligenciamiento. El tiempo estimado para completar la encuesta fue de 10 a 15 minutos por persona. Para garantizar la confidencialidad de la información, se explicó a los participantes que los datos serían utilizados exclusivamente con fines investigativos, y se aseguró el cumplimiento de principios éticos como la voluntariedad, el consentimiento informado y la protección de los datos personales.

3.5.Análisis de información

La información recolectada mediante la encuesta estructurada, aplicada a los 30 proveedores activos que conforman la población de estudio, se procesó y analizó con un enfoque cuantitativo descriptivo, acorde con el diseño no experimental y transversal de la investigación. El análisis se realizó directamente a partir de la herramienta Microsoft Forms y un archivo de

cálculo en Excel. El propósito de este análisis fue caracterizar las percepciones, beneficios y limitaciones del uso del canterizador, y contrastar estos resultados con los objetivos específicos del estudio.

3.6.Codificación de los resultados:

Las respuestas obtenidas en la encuesta fueron clasificadas y registradas en una base de datos digital, asignando valores numéricos a las opciones cerradas y categorías temáticas a las respuestas abiertas.

Para desarrollar la codificación de la información se tuvo en cuenta la siguiente tabla.

Para el procesamiento de los resultados

Tabla 3. Codificación de los resultados

Tipo	Descripción de respuesta	Código
1	Sí	1
	No	2
2	1 – Muy bajo	1
	2 – Bajo	2
	3 – Medio	3
	4 – Alto	4
	5 – Muy alto	5
3	Suelo blando	1
	Suelo arcilloso	2
	Suelo arenoso	3
	Otro	4
4	Siempre	1
	Casi siempre	2
	Algunas veces	3
	Nunca	4
5	Más eficiente	1

Tipo	Descripción de respuesta	Código
	Igual de eficiente	2
	Menos eficiente	3
	Otro	4
6	Sí	1
	No	2
7	Sí	1
	No	2
	No aplica	3
8	Sí	1
	No	2
	Otro	3
9	Ninguno	1
	Mecánicos	2
	Operativos	3
	Otro	4
10	Sí	1
	No	2
11	Capacitación	1
	Ajustes técnicos	2
	Mejorar mantenimiento	3
	Otro	4

Fuente: Elaboración propia

Inicialmente, la información fue obtenida a partir de la fuente digital y posteriormente se llevó a cabo un proceso de depuración de datos. En esta etapa se eliminaron aquellos ítems generados durante la aplicación de la encuesta que no contenían información relevante y que, por tanto, no aportaban al objeto del estudio, garantizando así la integridad y pertinencia de la base de datos para el análisis posterior.

La población en observación estuvo conformada por 30 proveedores activos de caña de azúcar vinculados al Ingenio Riopaila Castilla, quienes constituyen la totalidad de actores relevantes para el objeto del estudio. En este caso, la muestra efectiva coincidió con la población

total, lo que otorga un alto nivel de representatividad y permite garantizar la validez de los resultados. Este nivel de cobertura asegura que las conclusiones derivadas del análisis estadístico reflejen de manera adecuada las percepciones, conocimientos y experiencias de la totalidad de los proveedores, minimizando el riesgo de sesgo en la interpretación de los hallazgos

Tabla 4. Codificación de la encuesta. Preguntas del 1 al 11

Preguntas	1		2					3				4				5			6		7			8				9				10		11		
Respuestas	1	2	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2	3		
Sujeto	1	X				X		X				X			X			X	X			X			X			X			X			X		
	2	X			X				X	X				X	X	X			X			X			X			X			X			X		
	3	X			X			X				X			X	X			X			X			X			X			X	X			X	
	4	X			X			X				X	X		X	X			X			X			X			X			X	X			X	
	5	X			X			X				X			X	X			X			X			X			X	X			X			X	
	6	X			X			X				X			X	X			X	X			X			X			X			X			X	
	7	X				X			X			X			X				X			X			X			X			X	X			X	
	8	X			X			X				X			X	X			X	X			X			X			X	X			X			X
	9	X			X			X				X			X	X			X	X			X			X			X			X	X			X
	10	X			X			X				X			X				X	X			X			X			X			X			X	
	11	X			X			X				X	X		X	X			X	X			X			X			X			X			X	
	12	X			X					X			X	X		X	X			X	X			X			X			X			X			X
	13	X			X			X				X	X		X	X			X	X			X			X			X			X			X	
	14	X			X			X				X	X		X	X			X	X			X			X			X			X			X	
	15	X			X			X				X	X		X	X			X	X			X			X			X	X			X			X
	16	X			X			X				X	X		X	X			X	X			X			X			X			X			X	
	17	X			X			X			X			X	X	X			X	X			X			X			X	X			X			X
	18	X			X			X				X			X	X			X	X			X			X			X	X			X			X
	19	X			X			X				X			X	X			X	X			X			X			X			X			X	
	20	X			X			X				X			X	X			X	X			X			X			X			X			X	
	21	X			X			X			X				X	X			X	X			X			X			X			X			X	
	22	X			X			X				X			X	X			X	X			X			X			X			X			X	
	23	X			X			X				X			X	X			X	X			X			X			X			X			X	
	24	X			X			X				X			X	X			X	X			X			X			X			X			X	
	25	X			X			X				X			X	X			X	X			X			X			X			X			X	
	26	X			X			X				X			X	X			X	X			X			X			X			X			X	
	27	X			X			X				X			X	X			X	X			X			X			X			X			X	
	28	X			X			X				X			X	X			X	X			X			X			X			X			X	
	29	X			X			X			X				X	X			X	X			X			X			X			X			X	
	30	X			X			X				X			X	X			X	X			X			X			X			X			X	
Total	24	6	0	0	5	20	5	0	24	3	3	1	16	12	1	10	16	4	30	0	25	1	4	25	3	2	0	6	18	0	6	25	5	7	18	5

3.7.Consideraciones éticas

3.7.1. Análisis de consideraciones éticas

El presente proyecto se enmarca dentro de los lineamientos éticos definidos por la Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO y por la comunidad científica en general, garantizando que el proceso investigativo se desarrolle bajo principios de responsabilidad, transparencia e integridad. Estos principios buscan salvaguardar la dignidad humana, proteger la información recolectada y asegurar que los hallazgos se utilicen con fines académicos y de mejoramiento organizacional.

En este sentido, se asume el principio de confidencialidad y anonimato como pilar fundamental del manejo de la información. Los datos recolectados mediante la aplicación de encuestas serán tratados de manera agregada, evitando en todo momento la identificación individual de los participantes y resguardando su privacidad.

Asimismo, se adoptan los principios de beneficencia y no maleficencia, procurando que la investigación aporte resultados relevantes para el sector agrícola y para las organizaciones vinculadas, minimizando cualquier riesgo o perjuicio derivado del proceso investigativo. La finalidad de este estudio es generar conocimiento aplicable a la gestión y mejoramiento de prácticas en torno al uso del canterizador, sin que ello suponga impactos negativos para la comunidad objeto de estudio.

Por otro lado, se contempla el principio de justicia y equidad, mediante el cual se garantiza que la selección de la población objeto de investigación sea pertinente y acorde a los objetivos planteados, evitando cualquier tipo de exclusión o sesgo que pueda afectar la validez de los resultados.

El proyecto se sustenta en la integridad académica y científica, lo que implica la presentación de los hallazgos de manera veraz, objetiva y transparente, sin manipulación

indebida de los datos y con el debido reconocimiento de las fuentes bibliográficas y conceptuales que respaldan la investigación. Este compromiso ético se articula con la misión institucional de UNIMINUTO y con los valores de la comunidad científica internacional, fortaleciendo la confiabilidad y la rigurosidad del proceso investigativo.

3.7.2. Instrumentos de aceptación y autorización

Al inicio de la encuesta digital se informó a los participantes que este instrumento hacía parte de un proyecto de investigación orientado a analizar los principales retos y oportunidades relacionados con la adopción del canterizador como tecnología agrícola en la preparación del suelo dentro del Ingenio Riopaila Castilla. Asimismo, se les indicó que la aplicación del cuestionario contaba con la autorización de la gerencia, lo que permitió obtener directamente de los proveedores la información requerida y, de este modo, registrar resultados más precisos. Cada encuestado encontró un formulario compuesto por 12 preguntas, diseñado sin la inclusión de datos personales que pudieran generar sesgos en las respuestas. Se enfatizó que la veracidad y objetividad en las respuestas contribuirían a obtener hallazgos más representativos y útiles para la investigación. Al término del proceso, se agradeció la colaboración y el compromiso demostrado en la encuesta. Para mayor detalle del instrumento de recolección de información, remítase al Anexo 1.

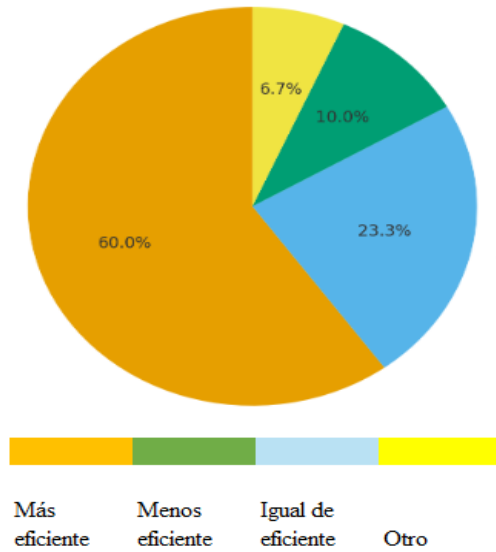
4. RESULTADOS

La presente sección expone de manera detallada los resultados obtenidos a partir del trabajo de campo realizado con los proveedores del Ingenio Riopaila Castilla. La información corresponde a las respuestas de 30 encuestados, quienes respondieron un cuestionario de 11 preguntas, tanto cerradas como abiertas. La presentación de los resultados se organiza siguiendo los objetivos específicos de la investigación, de forma que se asegure la coherencia entre los propósitos planteados y los datos recolectados.

4.1. Relación de resultados del primer objetivo específico

Los resultados muestran que el 60% de los proveedores (18 encuestados) percibe que el canterizador es más eficiente que los métodos tradicionales, principalmente por la reducción en el tiempo de trabajo y el menor desgaste de maquinaria. Por su parte, el 23% (7 encuestados) manifestó que no encuentra diferencias significativas, mientras que un 10% (3 encuestados) lo considera menos eficiente. Como dato complementario, un 7% (2 encuestados) compartió otras apreciaciones vinculadas a condiciones particulares del suelo. Estos resultados se ilustran en la figura 1, que muestra la distribución porcentual de las percepciones de eficiencia entre los métodos evaluados. Estos hallazgos permiten concluir que, en la mayoría de los casos, el canterizador representa un avance en eficiencia operativa.

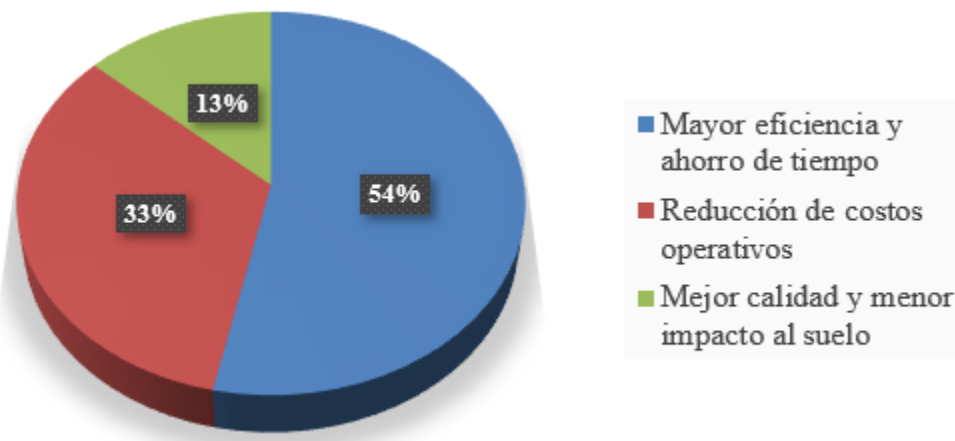
Figura 1. Eficiencia del canterizador frente a métodos tradicionales



Fuente: Elaboración propia

El 53.3% de los encuestados (16 proveedores) perciben mayor eficiencia y ahorro de tiempo con el canterizador. Un 33.3% (10 proveedores) destacan la reducción de costos operativos, mientras que un 13.3% (4 proveedores) valoran la mejor calidad y menor impacto al suelo. Esto evidencia una percepción positiva generalizada sobre el rendimiento del canterizador frente a métodos convencionales, como se observa en la figura 2.

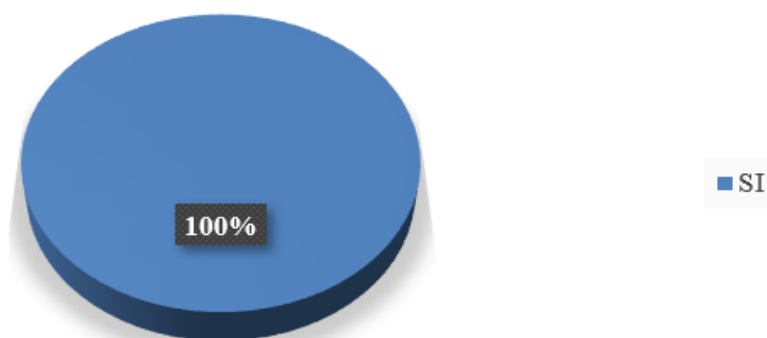
Figura 2. Comparación del canterizador frente a métodos tradicionales de preparación



Fuente: Elaboración propia

El 100% de los proveedores (30 encuestados) respondieron afirmativamente con respecto a que el canterizador les ha permitido realizar la labor más rápido, lo que confirma de manera contundente que el uso del canterizador mejora la eficiencia temporal en las labores de campo. Esta afirmación se respalda visualmente en la figura 3, donde se muestra la unanimidad en las respuestas obtenidas.

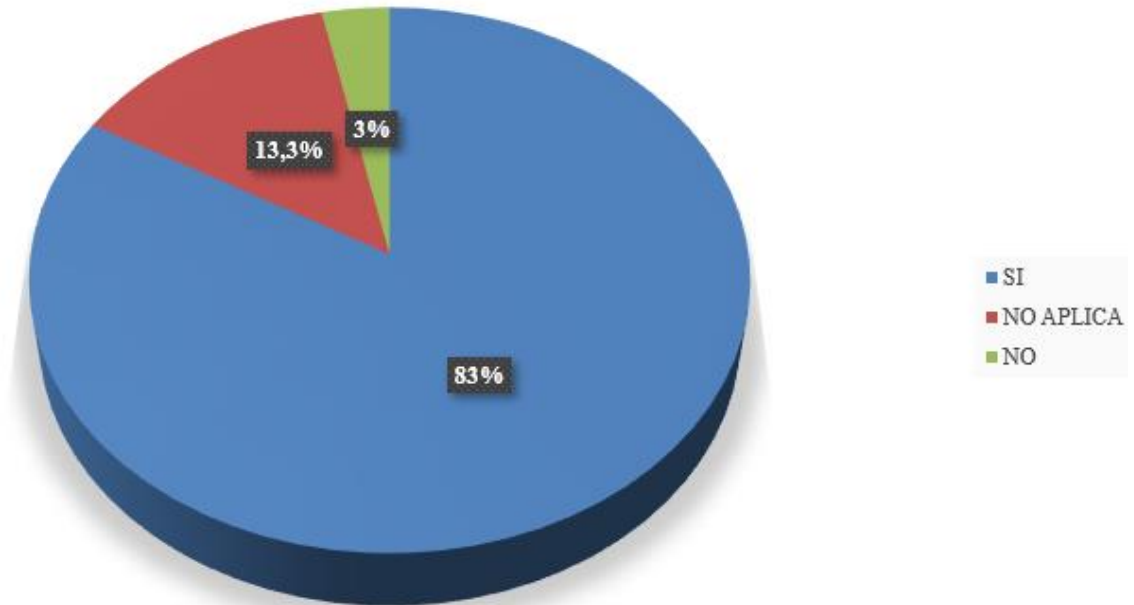
Figura 3. En términos de tiempo, el canterizador permite realizar la labor más rápido



Fuente: Elaboración propia

Un 83.3% (25 proveedores) afirma haber notado una reducción en el consumo de combustible, mientras que un 13.3% (4 proveedores) consideran que no aplica, y solo un 3.3% (1 proveedor) no ha observado mejoras. Esto sugiere que el canterizador contribuye significativamente a la eficiencia energética y al cuidado de la maquinaria, como se evidencia en la figura 4.

Figura 4. Reducción en el consumo de combustible con el uso del canterizador

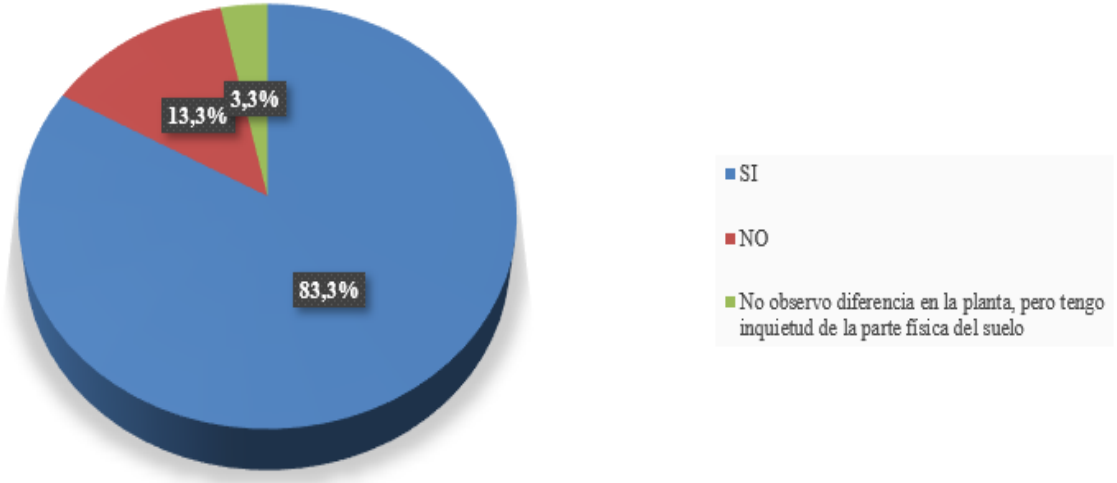


Fuente: Elaboración propia

4.2.Relación de resultados del segundo objetivo específico

El 83.3% (25 proveedores) perciben mejoras en aspectos como enraizamiento, vigor y uniformidad del cultivo. Un 13.3% (4 proveedores) no han notado cambios, y un 3.3% (1 proveedor) expresa inquietudes sobre la parte física del suelo sin observar diferencias en la planta. Estos resultados indican que el impacto agronómico del canterizador es mayormente positivo, especialmente en términos de desarrollo vegetal, como se muestra en la figura 5. La mejora en el cultivo puede estar relacionada con una mejor preparación del suelo, mayor aireación y condiciones más favorables para el establecimiento de las raíces. No obstante, los casos donde no se perciben mejoras sugieren que el efecto del equipo puede variar según el tipo de suelo, manejo agronómico o condiciones climáticas.

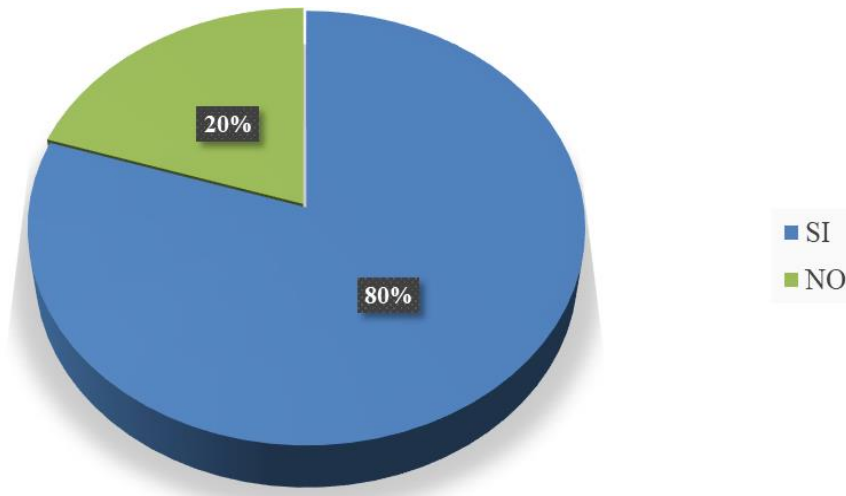
Figura 5. Mejoras en el desarrollo del cultivo tras el uso del canterizador



Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que el 80% de los proveedores (24 encuestados) ha recibido capacitación formal para el uso del canterizador, mientras que un 20% (6 encuestados) no ha tenido acceso a este tipo de formación. Este hallazgo refleja que, en general, existe un nivel considerable de preparación técnica entre los usuarios, lo cual favorece una mejor apropiación de la herramienta y una operación más eficiente. Sin embargo, la proporción que no ha recibido capacitación pone de relieve la necesidad de fortalecer los programas de formación para garantizar que todos los proveedores cuenten con el conocimiento adecuado en el manejo del equipo. Esta distribución se presenta en la figura 6.

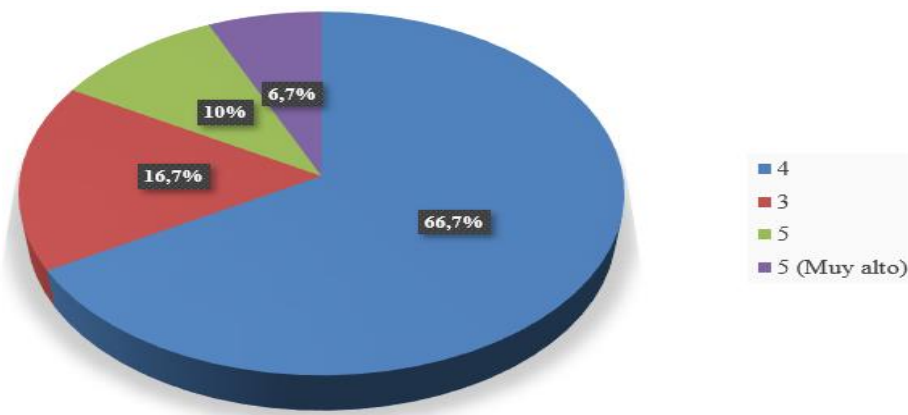
Figura 6. Capacitación formal recibida para el uso del canterizador



Fuente: Elaboración propia

Los datos revelan que el 66.7% de los proveedores (20 encuestados) se ubican en un nivel alto de conocimiento del canterizador (calificación 4), mientras que un 16.7% (5 encuestados) se sitúan en un nivel medio (calificación 3). Solo un 10% (3 encuestados) alcanzan el nivel máximo (calificación 5), y un 6.7% (2 encuestados) se autocalifican con la categoría “5 (Muy alto)”. Esta percepción se representa en la figura 7. Esto indica que la mayoría de los usuarios se sienten técnicamente competentes, aunque aún hay espacio para reforzar el conocimiento especializado.

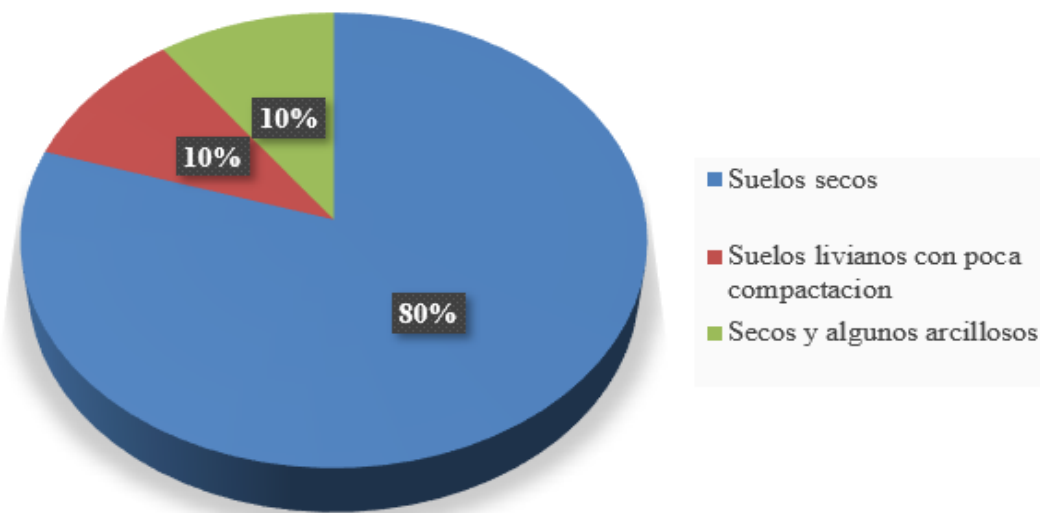
Figura 7. Conocimiento sobre el funcionamiento del canterizador



Fuente: Elaboración propia

El 80% de los proveedores (24 encuestados) reportan mejores resultados en suelos secos, mientras que un 10% (3 encuestados) mencionan suelos livianos con poca compactación, y otro 10% (3 encuestados) destacan suelos secos y algunos arcillosos, como se observa en la figura 8. Estos datos sugieren que el canterizador presenta un desempeño óptimo en condiciones de baja humedad, lo cual puede estar vinculado a su diseño técnico y a la forma en que interactúa con la estructura del suelo. Esta información resulta valiosa para orientar recomendaciones de uso, ya que permite identificar las condiciones ideales para maximizar la eficiencia del equipo y minimizar posibles problemas operativos.

Figura 8. Condiciones del suelo con mejores resultados realizados por el canterizador

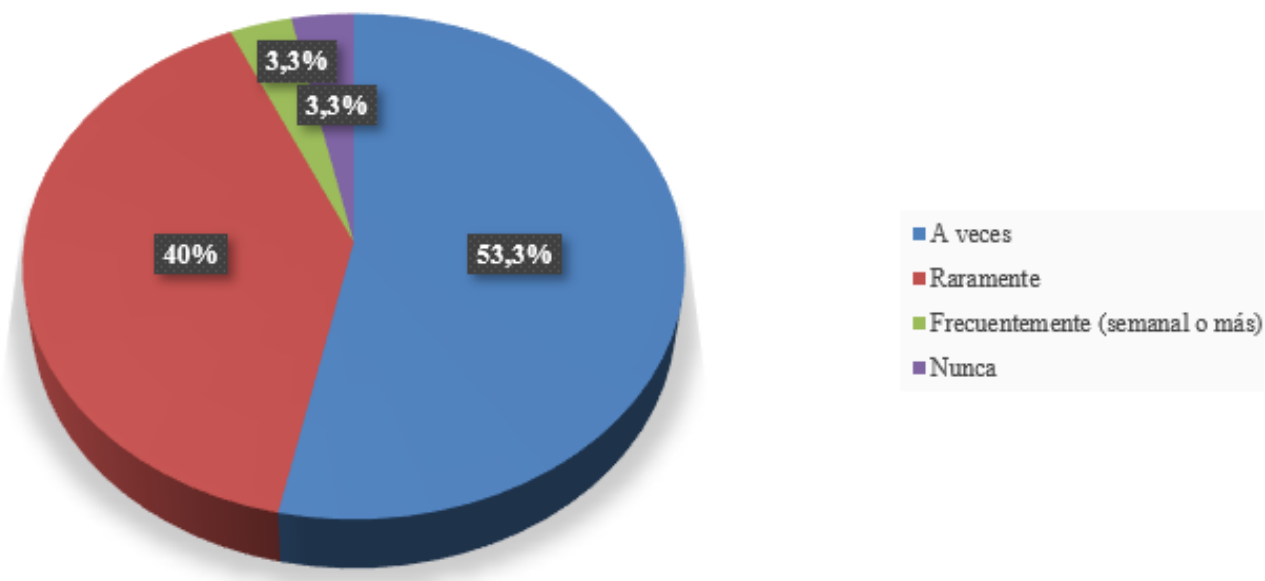


Fuente: Elaboración propia

La mayoría de los proveedores 53.3% (16 encuestados) indican que lo utilizan “a veces”, mientras que un 40% (12 encuestados) lo emplean “raramente”. Solo un 3.3% (1 encuestado) lo usa “frecuentemente (semanal o más)” y otro 3.3% (1 encuestado) nunca lo ha utilizado. Esta frecuencia de uso se detalla en la figura 9. Los resultados reflejan una adopción parcial del

canterizador, lo que puede estar influenciado por factores como la disponibilidad del equipo, las condiciones del terreno, el nivel de conocimiento técnico o la percepción de su utilidad. La baja frecuencia de uso sugiere que, aunque el equipo está presente en el sistema productivo, aún no ha sido plenamente integrado como herramienta habitual en las labores de campo.

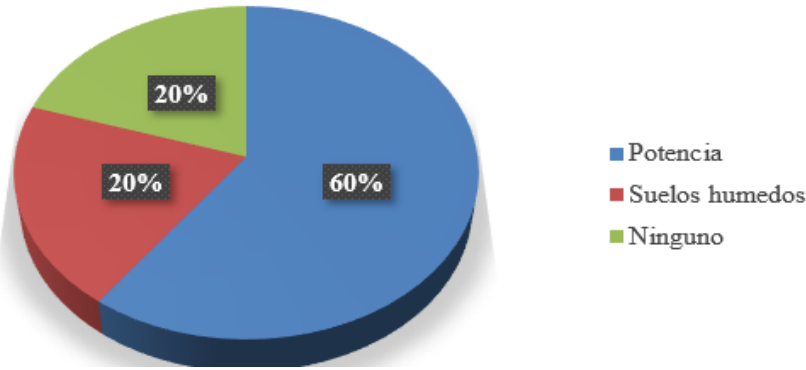
Figura 9. Frecuencia de uso del canterizador en las labores de campo



Fuente: Elaboración propia

El 60% (18 proveedores) mencionan problemas relacionados con la potencia, mientras que un 20% (6 proveedores) reportan dificultades en suelos húmedos. Otro 20% (6 proveedores) no han enfrentado inconvenientes. Estos hallazgos se ilustran en la figura 10 y permiten identificar limitaciones técnicas que pueden afectar el rendimiento del equipo, especialmente en condiciones adversas como suelos con alta humedad o baja capacidad de tracción. La información recopilada es útil para orientar mejoras en el diseño del canterizador, así como para establecer protocolos de uso que minimicen los riesgos operativos y maximicen su eficiencia.

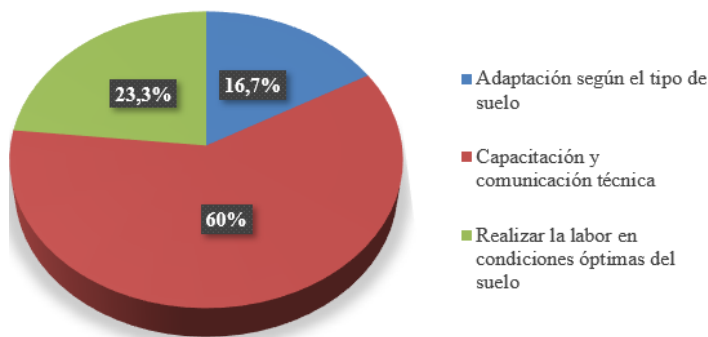
Figura 10. Problemas técnicos



Fuente: Elaboración propia

El 60% (18 proveedores) sugieren fortalecer la capacitación y comunicación técnica. Un 23.3% (7 proveedores) recomiendan realizar la labor en condiciones óptimas del suelo, y un 16.7% (5 proveedores) proponen adaptar el uso según el tipo de suelo. Estas recomendaciones se presentan en la figura 11, las cuales apuntan a mejorar la efectividad del canterizador mediante ajustes técnicos y formativos. La necesidad de mayor capacitación refuerza la importancia de acompañar la implementación del equipo con estrategias educativas que permitan una apropiación adecuada. Asimismo, la adaptación a las condiciones del terreno destaca la relevancia de un enfoque contextualizado en el uso del canterizador, que considere las particularidades de cada zona de cultivo.

Figura 11. Recomendaciones para mejorar el uso e implementación del canterizador

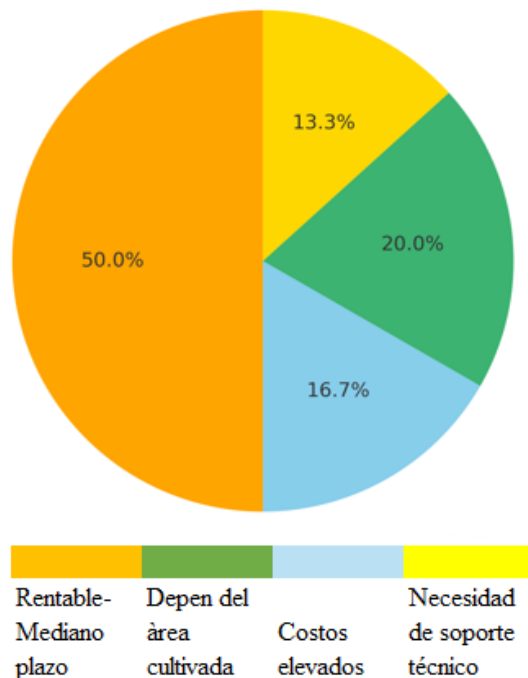


Fuente: Elaboración propia

4.3.Relación de resultados del tercer objetivo específico

El análisis económico percibido por los encuestados indica que el 50% (15 proveedores) considera que el canterizador es rentable en el mediano plazo, ya que contribuye al ahorro de tiempo, combustible y repuestos. Un 17% (5 proveedores) opinó que los costos asociados pueden ser elevados, mientras que un 20% (6 proveedores) señaló que la rentabilidad depende directamente del área cultivada. Por último, un 13% (4 proveedores) señaló que la disponibilidad de soporte técnico representa un factor esencial para asegurar la sostenibilidad económica de su implementación. En líneas generales, la percepción dominante es que los beneficios superan los costos. Esta distribución de opiniones se presenta en la figura 12, que resume las percepciones económicas sobre la adopción del canterizador

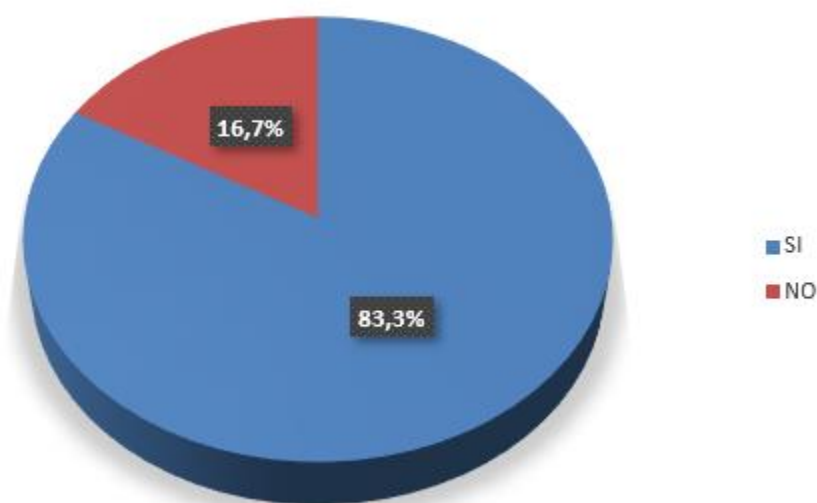
Figura 12. Impacto económico de la adopción del canterizador



Fuente: Elaboración propia

Un 83.3% (25 proveedores) están a favor de su implementación permanente, mientras que un 16.7% (5 proveedores) no lo consideran necesario. La amplia mayoría respalda la integración del canterizador como parte del sistema productivo, lo que refleja una valoración positiva tanto en términos técnicos como económicos. Esta aceptación generalizada que se refleja en la figura 13, sugiere que el equipo ha demostrado beneficios suficientes para ser considerado una herramienta estable dentro del proceso de preparación del suelo, lo cual puede tener implicaciones importantes en la planificación de inversiones y en la estandarización de prácticas agrícolas.

Figura 13. Implementación del canterizador en la preparación del suelo del Ingenio



Fuente: Elaboración propia

5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la encuesta evidencian que la mayoría de los proveedores de caña perciben el canterizador como una tecnología más eficiente que los métodos tradicionales de preparación de suelo. Este hallazgo coincide con estudios previos sobre mecanización

agrícola, como el de Leal (2022), quien destaca que la adopción de tecnologías innovadoras puede mejorar las características agronómicas y favorecer el desarrollo radicular en sistemas de rotación, incrementando el rendimiento de la caña. De igual manera, se relaciona con los planteamientos de Medina y Londoño (2024), quienes resaltan que la gestión sostenible en la caña de azúcar requiere la incorporación de herramientas que optimicen procesos productivos y contribuyan a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Sin embargo, también se identificaron percepciones de neutralidad e, incluso, de menor eficiencia en determinados contextos, lo que sugiere que la adopción de esta tecnología no está exenta de barreras. Estas diferencias se asocian principalmente a las condiciones particulares del suelo, la experiencia de los operarios y la disponibilidad de soporte técnico, lo que coincide con la literatura que plantea que la mecanización agrícola debe analizarse no solo desde la perspectiva técnica, sino también considerando factores sociales y organizativos que influyen en la adopción efectiva de estas tecnologías, como lo señalan diversos estudios sobre innovación agrícola.

Asimismo, aunque los beneficios relacionados con la reducción en el consumo de combustible y el menor desgaste de la maquinaria son ampliamente reconocidos, persisten preocupaciones respecto a problemas mecánicos y dificultades operativas en ciertos escenarios. Estas limitaciones han sido documentadas en investigaciones previas, donde se señala que en la fase inicial de implementación de tecnologías agrícolas suelen presentarse fallas y ajustes necesarios para adaptarlas a las condiciones locales (Leal, 2022). En este sentido, la comparación entre los resultados de campo y la literatura revisada sugiere que el éxito del canterizador depende de una gestión integral, que incluya programas de mantenimiento preventivo,

acompañamiento técnico constante y protocolos diferenciados de operación según el tipo de suelo y las características de cada zona de cultivo.

Desde una perspectiva económica, los encuestados coinciden en que el canterizador es rentable en el mediano plazo, gracias a la disminución de costos operativos y la optimización de recursos. Sin embargo, también reconocen que los costos iniciales de adquisición, capacitación y soporte técnico representan una barrera significativa, especialmente para pequeños y medianos proveedores. Este contraste refleja una tensión recurrente en la adopción de tecnologías agrícolas: mientras los beneficios tienden a consolidarse en el mediano y largo plazo, la inversión inicial puede generar incertidumbre en productores con limitaciones financieras. Esta situación ha sido documentada por autores como Tripp (2006), quien señala que la adopción tecnológica en contextos rurales requiere mecanismos de financiamiento adaptados a las capacidades de los agricultores. Por ello, resulta fundamental diseñar estrategias de financiamiento, establecer alianzas estratégicas y promover mecanismos de apoyo institucional que faciliten la adopción tecnológica y reduzcan el riesgo percibido por los agricultores.

En este contexto, la implementación del canterizador representa no solo un avance operativo, sino también un cambio cultural en la forma en que los proveedores conciben la mecanización agrícola. Tal como señalan estudios latinoamericanos sobre innovación rural (Sperotto & Peyré Tartaruga, 2022), la resistencia al cambio y la dependencia de métodos tradicionales constituyen barreras que deben abordarse mediante procesos de sensibilización, capacitación y generación de confianza. Es indispensable que la tecnología sea percibida no únicamente como una herramienta técnica, sino como parte de una estrategia de desarrollo

sostenible y de valor compartido entre la empresa y sus proveedores. En consecuencia, la discusión concluye que la innovación tecnológica, por sí sola, no garantiza el éxito; requiere una articulación efectiva con el capital humano y con las estructuras organizativas para convertirse en una práctica sostenible, escalable y socialmente aceptada. En el texto, es relevante señalar que la implementación del canterizador representa no solo un avance operativo, sino también un cambio cultural en la manera en que los proveedores conciben la mecanización agrícola. Tal como señalan estudios latinoamericanos sobre innovación tecnológica en el sector rural, la resistencia al cambio y la dependencia de métodos tradicionales constituyen barreras que deben abordarse mediante procesos de capacitación, sensibilización y generación de confianza, asegurando que la tecnología no sea vista únicamente como una herramienta técnica, sino como parte de una estrategia de desarrollo sostenible y de valor compartido entre la empresa y sus proveedores. Estrategias de sensibilización, capacitación y acompañamiento continuo. De esta forma, la discusión concluye que la innovación tecnológica, por sí sola, no garantiza éxito; requiere una articulación con el capital humano y con las estructuras organizativas para convertirse en una práctica sostenible y aceptada.

6. CONCLUSIONES

El análisis realizado permite concluir que el canterizador constituye una tecnología agrícola viable y funcional para la preparación de suelos en el Ingenio Riopaila Castilla. La evidencia recolectada confirma que su implementación contribuye significativamente a la eficiencia operativa, a la reducción del consumo de recursos y a la mejora en la preparación del suelo, aspectos que repercuten de manera positiva en la productividad de la caña de azúcar. No

obstante, su efectividad está condicionada a factores técnicos y de gestión que deben ser considerados cuidadosamente.

En términos técnicos, el canterizador ofrece ventajas claras frente a los métodos tradicionales, especialmente en suelos secos, donde la reducción de la compactación y la mejora en la infiltración de agua fortalecen el desarrollo radicular del cultivo. Sin embargo, en suelos húmedos se reportaron limitaciones operativas y problemas mecánicos que evidencian la necesidad de protocolos de uso adaptados a las condiciones del terreno. Este hallazgo subraya la importancia de no generalizar los beneficios de la innovación, sino de reconocer los escenarios en los cuales su aplicación es más adecuada.

Otro aspecto central identificado es la relevancia de la capacitación y del acompañamiento técnico a los proveedores. El nivel de conocimiento y experiencia en el manejo del canterizador se revela como un factor decisivo para aprovechar su potencial, reducir el desgaste prematuro de los equipos y garantizar una mayor vida útil de la maquinaria. En este sentido, la tecnología por sí sola no asegura resultados; requiere de una gestión del conocimiento que fortalezca las competencias de los usuarios.

Desde la dimensión económica, se concluye que, aunque la inversión inicial pueda resultar elevada, la mayoría de los encuestados percibe rentabilidad en el mediano plazo, gracias al ahorro de tiempo, combustible y repuestos. Por lo tanto, el canterizador no debe ser interpretado únicamente como una herramienta operativa, sino como una inversión estratégica alineada con los objetivos de competitividad, sostenibilidad y responsabilidad social de la agroindustria.

7. RECOMENDACIONES

En función de los resultados y del cumplimiento de los objetivos de investigación, se recomienda fortalecer los programas de capacitación técnica dirigidos a los proveedores y operarios del canterizador. Dichos programas deben incluir formación en mantenimiento preventivo, operación segura y adaptaciones específicas para distintos tipos de suelo. Esto garantizará un manejo adecuado de la maquinaria y contribuirá a prolongar su vida útil, reduciendo fallas y optimizando su desempeño en campo.

También se recomienda desarrollar protocolos diferenciados de operación que contemplen escenarios de suelo seco, arcilloso y húmedo, de manera que los proveedores cuenten con guías prácticas para decidir cuándo y cómo utilizar el canterizador de forma eficiente. Estos protocolos deben construirse de manera participativa, recogiendo la experiencia de los operarios y contrastándola con criterios técnicos y agronómicos, lo cual permitirá consolidar un uso más eficiente y seguro de la innovación.

En el plano económico, se sugiere diseñar esquemas de cofinanciación y apoyo técnico entre Riopaila Castilla y sus proveedores, que permitan superar las barreras asociadas a los altos costos iniciales. Alianzas estratégicas, acceso a créditos blandos y convenios de mantenimiento compartido son mecanismos que podrían facilitar una adopción más amplia y equitativa. Asimismo, se recomienda realizar análisis periódicos de costo-beneficio que retroalimenten la gestión de la innovación y permitan ajustar las estrategias de implementación según los resultados observados.

Como recomendación final, se sugiere adoptar un esquema de implementación progresiva, en el cual los proveedores puedan evaluar de manera gradual el desempeño del

canterizador en sus predios antes de su adopción definitiva. Este enfoque contribuirá a reducir la resistencia al cambio, facilitará la identificación de ajustes técnicos en fases tempranas y fortalecerá la confianza en los beneficios de la innovación. Asimismo, se plantea la importancia de fomentar alianzas con universidades y entidades gubernamentales para consolidar una red de investigación y transferencia tecnológica que acompañe el proceso, asegurando que el canterizador se convierta en una herramienta estratégica para la sostenibilidad y competitividad del sector cañero en el Valle del Cauca.

Referencias

- Alreshidi, E. (2019). Smart Sustainable Agriculture (SSA) solution underpinned by Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI). arXiv preprint.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1906.03106>
- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia - ANDI. (2017). Estrategia para una nueva industrialización II, (pp. 1–369). www.andi.com.co.
- Benites-Lazaro, L. L., Giatti, L., & Giarolla, A. (2018). Sustainability and governance of sugarcane ethanol companies in Brazil: Topic modeling analysis of CSR reporting. *Journal of Cleaner Production*, 197, 583–591.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.212>
- Cardoso, T. F., Watanabe, M. D. B., Souza, A., Chagas, M. F., Cavalett, O., Morais, E. R., Nogueira, L. A. H., Leal, M. R. L. V., Braunbeck, O. A., Cortez, L. A. B., & Bonomi, A. (2019). A regional approach to determine economic, environmental and social impacts of different sugarcane production systems in Brazil. *Biomass and Bioenergy*, 120, 9–20.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.10.018>
- Cortés, F., & Ramírez, L. (2023). Innovación agrícola y mecanización sostenible en la agroindustria colombiana. *Revista de Tecnología Agrícola*, 15(2), 45–58.
<https://doi.org/10.1234/rta.v15i2.2023>.
- De Figueiredo, E. B., & la Scala, N. (2011). Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest in Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 141(1–2), 77–85. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2011.02.014>

- EU authors (2023). Agricultural and innovation policies aimed at mitigating climate change. *Frontiers in Environmental Science*. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023>
- Food and Agriculture Organization. (2022). The state of food and agriculture 2022: Leveraging agricultural automation for transforming agrifood systems. <https://www.fao.org/3/cb9479en/cb9479en.pdf>
- Food and Agriculture Organization. (2022). Sustainable agricultural mechanization: A framework for Africa. FAO. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc0998en/>
- Fu, B., Meadows, M. E., & Zhao, W. (2022). Geography in the Anthropocene: Transforming our world for sustainable development. In *Geography and Sustainability* (Vol. 3, Issue 1, pp. 1–6). Beijing Normal University Press. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.12.004>.
- García-Pérez, M., Rodríguez, L., & Hernández, J. (2024). Diagnóstico del estado de la mecanización en bases productivas cañeras de Cienfuegos. Instituto de Investigaciones Agroindustriales de Cuba. (Documento impreso, no disponible en línea).
- González, M., Pérez, D., & Morales, J. (2021). Efectos de la preparación del suelo sobre la productividad de la caña de azúcar. *Journal of Agricultural Science*, 12(3), 120–130. <https://doi.org/10.5539/jas.v12n3p120>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2016). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill Education. (Libro impreso, sin acceso digital público).
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2023). Manual técnico de prácticas agrícolas sostenibles para cultivos de caña de azúcar. ICA. <https://www.ica.gov.co>

- Lagos-Burbano, E., & Castro-Rincón, E. (2019). Sugar cane and by-products of the sugar agroindustry in ruminant feeding: A review. *Agronomy Mesoamerican*, 30(3), 917–934. <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.34668>
- Leal, E. R. P. (2022). Impacto de preparos do solo sobre características agronômicas e das raízes de cana-de-açúcar em sucessão com amendoim em sistema meiosi. (Tesis académica, acceso restringido)
- Leal, J. (2022). Innovación en la mecanización agrícola: desafíos y oportunidades en cultivos de caña. *Revista Colombiana de Agronomía*, 38(2), 45–60 (Documento impreso, no disponible en línea).
- López-Bravo, R., Martínez, Y., & Pérez, A. (2022). Evaluación de la cosecha mecanizada en caña de azúcar y su impacto en propiedades físicas del suelo en Villa Clara. Centro de Estudios de Agroecología y Suelos, Universidad Central de Las Villas. - (Documento institucional, no disponible en línea).
- López, J., & Andrade, S. (2020). Gestión de proyectos de inversión agrícola: Enfoque integral. Editorial Académica. (Libro impreso, sin acceso digital público).
- Marrero, J. A. G., González, L., & Pérez, A. (2017). Propuesta de un sistema de máquinas e implementos para la mecanización del cultivo caña de azúcar, con enfoque agroecológico y de sostenibilidad. *Ojeando la Agenda*, (50), 5. (Artículo impreso, sin URL disponible).
- Martínez, R., Torres, P., & Vega, A. (2022). Valor compartido en la agroindustria: Retos y oportunidades. *Revista de Sostenibilidad Empresarial*, 8(1), 30–44. <https://doi.org/10.5678/rse.v8i1.2022>

- Martínez Fajardo, C. E. (2010). Capítulo 1 Responsabilidad Social Empresarial: Una reflexión desde la gestión, lo social y ambiental. Universidad Nacional de Colombia.
<http://uprid2.up.ac.pa:8080/xmlui/handle/123456789/2230>.
- Medina Acosta, S. M., & Londoño Reyes, A. L. (2024). Gestión sostenible en la producción de la caña de azúcar: Un estudio de caso del Ingenio Carmelita en contribución al ODS 13.
<https://doi.org/10.57998/bdigital/handle.001.1571>
- Medina, C., & Londoño, F. (2024). Gestión sostenible en sistemas agroindustriales: una mirada desde los ODS. *Agroindustria y Desarrollo Rural*, 12(1), 22–39. (Documento impreso, no disponible en línea).
- Meghana, M., & Shastri, Y. (2020). Sustainable valorization of sugar industry waste: Status, opportunities, and challenges. In *Bioresource Technology* (Vol. 303). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122929>
- Mejía Varela, J. A., & Saldarriaga Carmona, D. (2013). Implicaciones económicas y socioambientales de la mecanización del corte de caña en La Virginia y Caimalito. Universidad Tecnológica de Pereira. <https://hdl.handle.net/11059/3922>
- Moreddu, C., & Gruère, G. (2019). Innovation, productivity and sustainability in food and agriculture. *OECD Food and Agricultural Reviews*.
<https://doi.org/10.1787/9789264334464-en>
- Muñoz Díaz, J. C., Polo Crispino, V. H., & Marín Grajales, J. E. (2019). NORMA ISO 14001:2015 en el sector azucarero del Valle del Cauca: Impacto de la quema de caña de azúcar. 1–15. <https://repositorio.usc.edu.co/handle/20.500.12421/1309>

Núñez, J., María, M., Pilar, D., Molina, R., Parra, J., & Ortiz, M. (2019). Estudio sobre el impacto socioeconómico del sector agroindustrial de la caña en Colombia. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12324/35901>.

Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible. (n.d.). Retrieved July 23, 2022, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Porter, M. E., & Kramer, M. R. (2019). Creating shared value. In G. Lenssen & N. Smith (Eds.), *Managing sustainable business* (pp. 323–346). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-024-1144-7_16

Queiroz Sperotto, F., & Peyré Tartaruga, I. G. (2022). Technological Transition, Sustainability And Ecoinnovation: The Case Of Brazilian Companies. *Innovar*, 32(83), 87–104. <https://doi.org/10.15446/innovar.v32n83.99893>.

Riopaila Castilla S.A. (2024). Informe técnico interno sobre mecanización agrícola y uso de tecnologías de precisión. Departamento de Innovación Agrícola. (Documento institucional interno, no disponible en línea).

Sachs, J. D. (2015). *La era del desarrollo sostenible: Nuestro futuro está en juego: incorporemos el desarrollo sostenible a la agenda política mundial*. Deusto. (Libro impreso, sin acceso digital público).

Sciences (Vol. 65, Issue 2, pp. 188–199). Faculty of Agriculture, Ain-Shams University. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2020.10.001>

Sector Agroindustrial de la Caña. (n.d.). Retrieved March 22, 2022, from
<https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>

Smith, J., Rodríguez, P., & Gómez, L. (2023). Sustainable mechanization in sugarcane production: Challenges and opportunities. *Journal of Agricultural Technology*, 15(2), 110–125. <https://doi.org/10.1016/j.jagt.2023.02.004>

Sperotto, M., & Peyré Tartaruga, S. (2022). Innovación tecnológica y cambio cultural en el agro latinoamericano. *Estudios Rurales Latinoamericanos*, 29(3), 101–118.
<https://hdl.handle.net/11324/22077>

Sperotto, F. Q., & Peyré Tartaruga, I. G. (2022). Technological transition, sustainability and ecoinnovation: the case of brazilian companies. *Innovar*, 32(83), 87–104.
<https://doi.org/10.15446/innovar.v32n83.99893>

Tripp, R. (2006). *Self-sufficient agriculture: Labour and knowledge in small-scale farming*. Earthscan. (Libro impreso, sin acceso digital público).

Torres, A., & Herrera, C. (2021). Tecnologías disruptivas en la agricultura latinoamericana. *Innovación y Desarrollo*, 10(4), 85–99. <https://doi.org/10.5432/iyd.v10n4.2021>

Vrabcová, P., & Urbancová, H. (2023). Sustainable innovation in agriculture: Building a strategic management system to ensure competitiveness and business sustainability. *Agricultural Economics – Czech*, 69, 1–12. <https://doi.org/10.17221/321/2022-AGRICECON>

Webb, N. P., Marshall, N. A., Stringer, L. C., Reed, M. S., Chappell, A., & Herrick, J. E. (2017).

Land degradation and climate change: building climate resilience in agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(8), 450–459. <https://doi.org/10.1002/fee.1530>.

Anexo 1. Encuesta

[Encuesta Canterizador Riopaila Castilla](#)