Maestría en Administración de Empresas
Proyecto Integrador Caso de Negocio

Título de la propuesta o iniciativa: Evaluación Estratégica de Alternativas para la Modernización del Sistema de Siembra en la Industria Azucarera

Alfonso, CHILIQUINGA TAPIA[a] y Rubén, ALARCON SALAS[b] bajo la dirección de Mayra Liuviana Vega Chica[c]

a Ingeniero Mecánico. E-mail alfonso.chiliquinga@uees.edu.ec

b Ingeniero Mecánico. E-mail ruben.alarcon@uees.edu.ec

c PhD en Administración Estratégica de Empresas. E-mail mvegach@uees.edu.ec

SÍNTESIS:	Este estudio orquesta un análisis técnico-estratégico para la modernización del sistema de siembra en un ingenio azucarero ecuatoriano. El diagnóstico inicial revela cómo el modelo manual tradicional restringe la eficiencia, la uniformidad del cultivo y la sostenibilidad económica. A través de una metodología rigurosa, se contrastan tres alternativas: la continuidad del modelo actual, la transición a una siembra semimecanizada y la adopción de un sistema mecanizado integral. La evaluación, basada en indicadores financieros y operativos estratégicos, busca identificar la alternativa que optimice el valor integral del negocio agrícola.
DESCRIPCIÓN:	La caña de azúcar, pilar de la agroindustria nacional, enfrenta el desafío de los procesos manuales intensivos, los cuales frenan su competitividad. Este estudio responde a la urgencia de modernizar la siembra, mediante una comparación estructurada de tres alternativas tecnológicas. El análisis integra criterios de retorno económico, eficiencia operativa y alineación estratégica, sustentado en datos históricos, literatura especializada y estudios de caso.

DEFINICIÓN DE LA OPORTUNIDAD:	La oportunidad identificada consiste en reemplazar el actual modelo manual de siembra por una alternativa tecnificada que permita mejorar la eficiencia, reducir costos, elevar la uniformidad de la plantación y acortar los tiempos de ejecución por hectárea. Este cambio no responde únicamente a un criterio operativo, sino a una necesidad estratégica de adaptación frente a un entorno que demanda procesos más sostenibles, escalables y basados en datos. La decisión representa un punto de inflexión para el ingenio, al abrir la posibilidad de transformar una función crítica del ciclo agrícola.
OBJETIVO RELEVANTE DEL NEGOCIO:	Seleccionar e implementar una alternativa de siembra que, además de mejorar la eficiencia técnica y operativa del proceso, genere un retorno financiero sólido, asegure la sostenibilidad del cultivo a largo plazo y se alinee con la estrategia de modernización del ingenio, optimizando el uso de recursos, el tiempo y la calidad del establecimiento del cultivo.
ALTERNATIVA DE ANÁLISIS ELEGIDA:	La siembra mecanizada emerge como la alternativa seleccionada, al responder de manera óptima a los desafíos presentes del ingenio y, simultáneamente, proyectar una visión de futuro. Esta opción estratégica optimiza el uso de recursos, refina la precisión del proceso y atenúa la dependencia operativa, en consonancia con los objetivos de eficiencia, sostenibilidad y modernización. En esencia, representa una decisión estratégica orientada a robustecer la competitividad y preparar al ingenio para afrontar con solidez los retos del entorno agrícola actual y venidero.

1. Oportunidad o problema

1. Identificar la oportunidad/problema

La caña de azúcar, cultivo de profunda raigambre económica y social en Ecuador –especialmente en las provincias costeras, donde vigoriza extensas cadenas agroindustriales–, ocupa más de 100.000 hectáreas en el territorio nacional (Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador, 2022), lo que subraya su importancia estratégica en la matriz agroproductiva del país. Empero, la persistencia de prácticas de siembra predominantemente manuales, otrora funcionales, impone hoy limitaciones críticas a la competitividad futura.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2021) enfatiza que la mecanización agrícola resulta fundamental para potenciar la productividad, reducir los costos operativos y asegurar la sostenibilidad de los cultivos. La carencia de adopción tecnológica en el proceso de siembra constriñe la eficiencia, incrementa los costos unitarios y dificulta la adhesión a estándares internacionales de trazabilidad y certificación.

A esta problemática estructural se añade una dinámica demográfica que compromete directamente la disponibilidad de mano de obra. El Instituto Nacional de Estadística y Censos (2024) revela que la proporción de población rural en Ecuador ha disminuido drásticamente, pasando del 51 % en 1982 a cerca del 34 % en 2022, y se proyecta que para 2025 se sitúe entre el 31 % y 32 %. Esta tendencia, impulsada por la migración hacia centros urbanos en busca de mejores horizontes laborales, educativos y de servicios, anticipa una merma crítica de la base laboral disponible para actividades agrícolas intensivas. Diversos estudios, incluyendo los desarrollados por la FAO (2017) y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 2019), advierten que cuando la población rural desciende por debajo del 30 %, las actividades agrícolas tradicionales comienzan a enfrentar serias dificultades para acceder a mano de obra asequible. En contextos donde esta proporción cae por debajo del 25 %, los problemas de disponibilidad de trabajadores adquieren un carácter estructural, forzando una transformación acelerada del modelo agrícola hacia alternativas mecanizadas o la contratación de fuerza laboral migrante.

En el contexto específico de la industria azucarera ecuatoriana, históricamente dependiente de métodos intensivos de siembra manual, esta transición demográfica representa una amenaza estratégica de gran envergadura. La disminución progresiva de la población rural no solo incrementará los costos de contratación, sino que también reducirá la disponibilidad efectiva de trabajadores para sostener los niveles de producción actuales, afectando directamente la competitividad del sector.

El problema se agudiza al considerar factores internos de gestión organizacional. En el Ecuador, un sector de la alta gerencia agrícola persiste en promover prácticas tradicionales de siembra manual, respaldadas en su vasta experiencia operativa. En los niveles de mandos medios, prevalecen creencias limitantes que refuerzan percepciones negativas sobre la adopción de tecnologías de siembra mecanizada o semimecanizada.

Entre estas percepciones, destaca la preocupación por el incremento en el consumo de semilla asociado a la mecanización, un aspecto real pero que, analizado en un contexto estratégico más amplio, resulta marginal frente a los beneficios que el nuevo sistema proporciona. La carencia de una visión integral de los beneficios del sistema mecanizado restringe la capacidad de la organización para visualizar los impactos positivos que esta transformación puede generar en términos de productividad, costos, escalabilidad y acceso a nuevos mercados. Superar estas creencias limitantes es esencial para construir una estrategia de modernización exitosa, que contemple de manera holística las necesidades operativas, financieras y estratégicas del ingenio.

Adicionalmente, se manifiesta una débil cultura de mejora continua en las labores agrícolas, en contraste con el enfoque innovador que caracteriza a las operaciones industriales del ingenio. Mientras en planta predomina una visión moderna de agroindustria, en el área agrícola persiste una lógica tradicionalista, sin integración formal de procesos de innovación, control de calidad o trazabilidad tecnológica.

Para desentrañar de manera estructurada las causas que perpetúan el uso de métodos manuales en la siembra, se aplicó la metodología de análisis de causa raíz utilizando el Diagrama de Ishikawa (Figura 1). Entre las principales causas identificadas sobresalen: la resistencia cultural en mandos medios y alta dirección, la falta de cultura de mejora continua en el agro, y la gestión fragmentada entre las áreas industrial y agrícola. Complementariamente, se utilizó la metodología de los 5 Porqués (Tabla 1) para profundizar en las causas raíz de los principales problemas detectados. Este análisis reveló que la resistencia al cambio tecnológico no es meramente una cuestión de recursos o conocimiento técnico, sino que responde a factores culturales y organizacionales más profundos, los cuales limitan la adopción de nuevas prácticas pese a la viabilidad demostrada de las tecnologías de siembra mecanizada.

La convergencia de estos análisis evidencia que la modernización del sistema de siembra no puede concebirse como una simple actualización tecnológica, sino como un proceso integral que debe abarcar transformaciones en las estructuras organizativas, en la cultura empresarial y en la visión estratégica del negocio agrícola.

Figura 1.

Diagrama de Ishikawa para identificar el problema

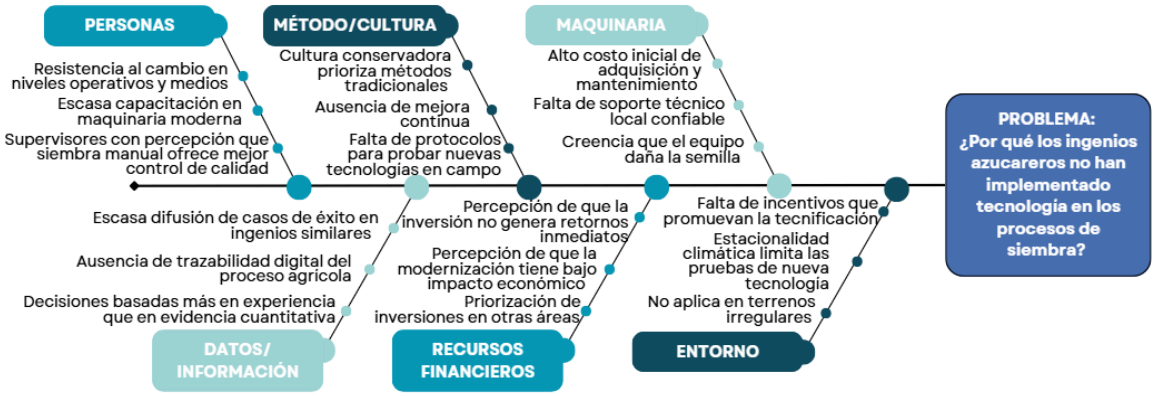


Tabla 1.

5 Por que´s – Causa raíz de la no tecnificación en el proceso de siembra

#	Pregunta (¿Por qué?)	Respuesta / Causa identificada
1	¿Por qué los ingenios no han implementado tecnología en los procesos de siembra?	Porque se continúa utilizando un modelo manual tradicional que ha sido funcional y sostenido durante años.
2	¿Por qué se sigue utilizando el modelo manual tradicional?	Porque se percibe que la siembra manual permite un mayor control visual del proceso y de la calidad del material vegetativo.
3	¿Por qué se tiene esa percepción en la organización?	Porque existe una cultura arraigada en los niveles operativos y directivos que valora la experiencia empírica sobre la estandarización técnica.
4	¿Por qué no se ha desafiado esa cultura con información técnica actualizada?	Porque no se cuenta con suficientes datos internos ni análisis comparativos que demuestren objetivamente los beneficios de la mecanización en el contexto del ingenio.
5	¿Por qué no se han generado estos datos y análisis?	Porque históricamente no se ha priorizado la tecnificación del proceso de siembra como una línea estratégica ni se han destinado recursos para evaluaciones técnicas.

Nota. Elaboración propia. La tabla aplica la metodología de los 5 Porqués para identificar la causa raíz de la baja adopción tecnológica en el proceso de siembra del ingenio.

Esta situación interna se torna aún más crítica al compararla con el avance de países de la región. Según el Centro de Estudios Avanzados en Economía Aplicada (CEPEA, 2021), Brasil ha alcanzado niveles de mecanización superiores al 90 % en la siembra de nuevas áreas de caña. En Colombia, gracias a iniciativas de modernización agrícola, ingenios como Manuelita y Providencia presentan grados de mecanización cercanos al 70 % (Asocaña, 2022). México, a través del Programa Nacional de Caña, ha impulsado la tecnificación en regiones clave como Veracruz, logrando niveles de mecanización de hasta el 60 % (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022). Esta tendencia regional evidencia que la adopción de tecnologías de siembra mecanizada ya no representa una ventaja diferenciadora, sino un requisito fundamental para sostener la eficiencia, la competitividad y la sostenibilidad de los cultivos de caña a nivel internacional.

Por tanto, la modernización del sistema de siembra se plantea no solo como una oportunidad de mejora, sino como una necesidad estratégica urgente para garantizar la viabilidad, sostenibilidad y expansión del negocio agroindustrial azucarero en el corto y mediano plazo.

2. **Formalizar la declaración de la O/P**

El sistema de siembra vigente en el ingenio, a pesar de su funcionalidad histórica, evidencia una creciente desadaptación a las exigencias del entorno agroindustrial contemporáneo. La naturaleza eminentemente manual del proceso, dependiente de operarios y herramientas rudimentarias, implica una alta variabilidad en la ejecución, una limitada estandarización, extensos tiempos de ciclo y un elevado consumo de recursos humanos. Esta configuración no solo restringe la eficiencia operativa inmediata, sino que también coarta la capacidad de evolucionar hacia modelos productivos más competitivos y sostenibles.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2021) enfatiza que la mecanización agrícola constituye un factor determinante para incrementar la productividad y robustecer la resiliencia de los sistemas productivos, especialmente en países con estructuras agrarias fragmentadas, como Ecuador. En el caso específico del cultivo de caña de azúcar, donde el diseño del proceso de siembra ejerce una influencia trascendental sobre el rendimiento plurianual, esta premisa adquiere una relevancia aún mayor. En concordancia con Kienzle, Ashburner y Sims (2013), se sostiene que el proceso de siembra define en gran medida la eficiencia global del sistema de producción de caña, y su optimización demanda no solo la incorporación de herramientas tecnológicas, sino también la adopción de una perspectiva de transformación estructural.

En el contexto ecuatoriano, investigaciones como la de Díaz y Villacrés (2022) han demostrado que, si bien la adopción de tecnologías mecanizadas enfrenta obstáculos

técnicos y económicos —tales como las características topográficas y la fragmentación de las parcelas—, también existen ejemplos exitosos de ingenios que han implementado soluciones semimecanizadas, obteniendo resultados favorables en términos de tiempos de ejecución, uniformidad del cultivo y reducción de errores operativos. Esto evidencia que el entorno nacional no solo requiere, sino que también posee la capacidad de adaptarse a procesos de modernización adecuadamente gestionados.

En esta misma línea argumentativa, Baudron, Sims, Justice y Kahan (2015) postulan que el éxito de la mecanización en países en desarrollo depende fundamentalmente de la adecuación tecnológica: la selección e implementación de herramientas que no solo sean funcionalmente eficaces desde una perspectiva mecánica, sino que también se integren de manera coherente con las condiciones técnicas, económicas y socioculturales del territorio. Este principio se alinea con la perspectiva de Devkota y Martius (2018), quienes conciben la mecanización no como un fin en sí mismo, sino como un eslabón fundamental en la intensificación sostenible de la agricultura, permitiendo incrementar el rendimiento productivo sin comprometer la base de recursos naturales ni la estabilidad del sistema agrícola.

Adicionalmente, el Banco Mundial (2021) ha subrayado que los sistemas agroindustriales del futuro deberán incorporar tecnologías que no solo potencien la productividad, sino que también integren criterios de digitalización, eficiencia energética y trazabilidad. Estos elementos trascienden la mera mejora técnica, configurando un reposicionamiento estratégico frente a un entorno caracterizado por crecientes exigencias en términos de calidad del producto, sostenibilidad de las prácticas y agilidad en la respuesta.

En este contexto, la oportunidad se define como la posibilidad de efectuar una transformación estructural del sistema de siembra del ingenio, transitando desde un modelo manual intensivo en mano de obra hacia un esquema operativo tecnificado, ágil y predecible. Esta transición se concibe no simplemente como una optimización operativa, sino como una decisión estratégica orientada a asegurar la continuidad, escalabilidad y rentabilidad del negocio agrícola en el horizonte del mediano y largo plazo.

Análisis Estratégico – Análisis FODA

Con el objetivo de comprender integralmente el contexto interno y externo que rodea al proyecto de modernización del sistema de siembra en el ingenio, se realizó un análisis FODA, identificando las principales fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que podrían impactar la viabilidad y sostenibilidad de la propuesta.

Fortalezas

- Experiencia consolidada del personal en procesos de siembra y cosecha manual.
- Capacidad financiera actual del ingenio para inversiones de mediano plazo.
- Existencia de infraestructura básica de soporte (caminos, talleres de mantenimiento, bodegas).

Oportunidades

- Avances tecnológicos disponibles en maquinaria especializada para siembra mecanizada.
- Existencia de proveedores internacionales con experiencia en la siembra mecanizada.
- Transmisión de conocimiento con ingenios de países cercanos que ya han aplicado la tecnología con excelentes resultados.
- Incentivos gubernamentales para la modernización agrícola y uso eficiente de recursos.

Debilidades

- Resistencia al cambio por parte de mandos medios y operarios tradicionales.
- Alta dependencia de la mano de obra manual para operaciones agrícolas.
- Procesos actuales de siembra no trazables digitalmente.
- Escasa experiencia del personal en manejo de sembradoras mecanizadas.
- Limitaciones en la logística interna para el transporte y abastecimiento oportuno de insumos en campo.

Amenazas

- En el corto o mediano plazo, la migración rural-urbana generaría escasez de mano de obra agrícola elevando su costo.
- Posible percepción social negativa debido a medidas del ingenio que afecten a los puestos de trabajo de la comunidad.
- Incremento de los costos de maquinaria importada debido a tensiones comerciales internacionales.
- Riesgo de escasez de repuestos y soporte técnico local oportuno.

3. Identificar objetivos a partir de la O/P

La modernización del sistema de siembra en el ingenio azucarero se presenta como una respuesta estratégica a las limitaciones del modelo manual actual, el cual restringe la eficiencia, eleva los costos y dificulta la adopción de prácticas sostenibles. Para abordar esta oportunidad/problema, es fundamental establecer objetivos claros y bien definidos que guíen la selección e implementación de la alternativa más adecuada.

La definición de estos objetivos se basa en criterios de impacto económico, mejora técnica y eficiencia operativa, en línea con las recomendaciones de García y Mendoza

(2019) sobre la necesidad de adoptar enfoques estratégicos de modernización en la agroindustria latinoamericana. Además, se considera la importancia de la escalabilidad y la variable tiempo, tal como sugieren Gómez y Restrepo (2020) y Bravo y Ayala (2018), para asegurar la sostenibilidad de la solución y optimizar los tiempos de siembra.

En consecuencia, los objetivos estratégicos que se detallan a continuación se organizan en tres dimensiones prioritarias:

- Generación de valor económico: Se buscará maximizar el retorno de la inversión y asegurar la viabilidad financiera del proyecto.
- Mejora técnica del proceso de siembra: Se apuntará a optimizar la eficiencia, precisión y uniformidad del proceso mediante la adopción de tecnologías apropiadas.
- Eficiencia operativa en campo: Se procurará reducir los tiempos de siembra, los costos operativos y la dependencia de la mano de obra, tal como lo señalan González y Jara (2021).

4. Establecer prioridades en sus objetivos.

La transformación del sistema de siembra en el ingenio es una decisión estratégica crucial que demanda una definición precisa de resultados, su medición y los plazos para alcanzarlos, yendo más allá de una simple actualización tecnológica o ajuste presupuestario. El establecimiento de objetivos estratégicos claros es, por lo tanto, fundamental para guiar la evaluación de alternativas y la toma de decisiones informada. La literatura especializada, incluyendo los trabajos de Ortiz y Cedeño (2020) y Reinoso y Herrera (2021), resalta que una planificación basada en objetivos medibles, con criterios definidos de impacto, tiempo y factibilidad, es determinante para el éxito en la innovación tecnológica agrícola, permitiendo concentrar recursos en las mejoras de mayor valor y asegurando que los cambios consideren tanto indicadores financieros como resultados operativos que evidencien eficiencia técnica.

Con base en el diagnóstico y los enfoques planteados, se establecen los siguientes objetivos estratégicos para evaluar las alternativas de siembra (manual, semimecanizada y mecanizada):

1. **Valor Actual Neto (VAN):** Lograr un VAN superior a USD 50.000 en un horizonte de evaluación de cinco años.
2. **Tasa Interna de Retorno (TIR):** Alcanzar una TIR igual o superior al 15%, asegurando una rentabilidad sólida frente a otras alternativas de inversión en el negocio agrícola.
3. **Reducción de Costos de Siembra:** Disminuir en al menos un 5% el costo total de siembra por hectárea durante el primer año de implementación de la nueva

tecnología, optimizando el uso de insumos, disminuyendo la intervención humana directa y reduciendo errores operativos.

4. **Reducción del Tiempo de Siembra:** Reducir el tiempo promedio requerido para la siembra por hectárea en al menos un 15% durante el primer año posterior a la implementación tecnológica, buscando incrementar la eficiencia temporal del proceso y mejorar la capacidad de respuesta ante ventanas climáticas o logísticas.

5. **Asignar indicadores de seguimiento y control para las opciones, además de los criterios o indicadores para comparar las opciones.**

Para evaluar las alternativas de siembra (manual, semimecanizada y mecanizada), se emplean Indicadores Clave de Desempeño (KPI) que cuantifican su impacto económico y operativo. Estos indicadores permiten medir el cumplimiento de los objetivos estratégicos.

Los indicadores para el sistema manual se basan en datos históricos del ingenio. Para las opciones semimecanizada y mecanizada, se utilizan valores de referencia de literatura técnica y estudios de caso.

Indicadores Financieros

Estos indicadores evalúan la rentabilidad económica de cada alternativa:

- **Valor Actual Neto (VAN):** Mide el valor presente de los beneficios netos proyectados a cinco años, utilizando una tasa de descuento definida por el área financiera y herramientas como hojas de cálculo diseñadas para evaluación de proyectos..

- **Tasa Interna de Retorno (TIR):** Representa la rentabilidad de la inversión, permitiendo comparar alternativas y verificar si cumplen con el retorno mínimo requerido.

Indicadores Operativos

Estos indicadores miden la eficiencia del proceso de siembra:

- **Costo total de siembra por hectárea ($/ha):** Incluye mano de obra, insumos, mantenimiento y operación de equipos, calculado según el presupuesto operativo estimado por hectárea para cada modelo.

- **Tiempo promedio de siembra por hectárea (horas/ha):** Estima la duración del proceso por hectárea, basado en especificaciones técnicas de equipos y reportes de desempeño.

La aplicación de estos indicadores facilita un análisis comparativo integral, apoyando la selección de la opción que optimice el valor económico y la eficiencia operativa del ingenio.

2. Explorar, limitar y formalizar las alternativas

La definición de alternativas viables para la modernización del sistema de siembra en el ingenio no constituyó un proceso ad hoc, sino que emergió de una metodología rigurosa que amalgamó la revisión técnica con el análisis comparativo y la comprensión profunda del contexto agrícola local. Este enfoque se cimentó en una exhaustiva revisión bibliográfica de estudios sobre mecanización agrícola, la modernización de cultivos extensivos y las experiencias de ingenios en América Latina. Se consultaron publicaciones de referencia como las de la FAO (2021) y el Banco Mundial (2021), así como trabajos de Baudron et al. (2015) y Devkota y Martius (2018), que proporcionaron una perspectiva global sobre la mecanización agrícola sostenible. Complementariamente, se integraron hallazgos de investigaciones regionales, destacando las de Reinoso y Herrera (2021) sobre estrategias de modernización en el litoral ecuatoriano y los casos de innovación técnica documentados por Gómez y Restrepo (2020).

La triangulación metodológica incluyó un ejercicio de benchmarking informal de la maquinaria disponible en el mercado, un análisis técnico-operativo de los requerimientos logísticos inherentes a cada opción y la consulta directa con el personal agrícola y técnico del ingenio, cuyo conocimiento empírico resultó fundamental. Este proceso decantó en la formalización de tres alternativas diferenciadas para su evaluación:

Alternativa 1: Siembra Manual

Esta alternativa refleja la operación tradicional del ingenio, caracterizada por la ejecución manual de la totalidad del proceso, desde la preparación del terreno hasta el tapado del material vegetativo, apoyada en herramientas rudimentarias.

Este modelo, aunque históricamente funcional, presenta varias limitaciones:

- Alta dependencia de mano de obra.
- Variabilidad en la calidad y profundidad de siembra.
- Tiempos prolongados por hectárea.
- Nula trazabilidad operativa.

Su análisis se fundamentará en los datos históricos internos del ingenio, estableciendo así una línea base para la comparación objetiva.

Alternativa 2: Siembra Semimecanizada

La siembra semimecanizada contempla el uso de maquinaria parcial, como surcadoras mecánicas y equipos de colocación, que permiten automatizar ciertas etapas críticas del proceso. El resto de las tareas continúa realizándose con intervención manual, lo que facilita una transición progresiva desde el modelo tradicional.

Los supuestos técnicos y operativos de este modelo contemplan:

- La capacitación del personal existente para la operación de los equipos.
- La maquinaria es de tamaño mediano y adecuada para las condiciones del terreno.
- La factibilidad de gestionar el mantenimiento técnico a nivel local.

Alternativa 3: Siembra Mecanizada

La tercera alternativa propone la implementación de un sistema mecanizado integral, capaz de ejecutar en una sola pasada la apertura del surco, la dosificación, la colocación de la semilla y el tapado. Este modelo se alinea con las prácticas de agricultura de precisión y representa el mayor salto tecnológico.

Sus beneficios sustanciales incluyen:

- Reducción significativa del tiempo operativo por hectárea.
- Elevada uniformidad del cultivo.
- Minimización de errores humanos.
- Mejor capacidad de trazabilidad y planificación.

La valoración de esta alternativa se basará en datos técnicos proporcionados por fabricantes, estudios de caso de ingenios que han adoptado soluciones similares y estimaciones rigurosas (Kienzle et al., 2013; González y Jara, 2021).

Tabla 2.

Alternativas a Evaluar para el proyecto

Alternativas	Información Relevante	Consideraciones
Alternativa 1: Siembra manual	- Datos históricos del ingenio - Rendimiento promedio por hectárea	- No requiere inversión - Alta dependencia de la mano de obra

	- Costos de mano de obra por jornada	- Baja trazabilidad y variabilidad operativa
Alternativa 2: Siembra semimecanizada	- Costos de adquisición, operación y mantenimiento del equipo - Necesidades de capacitación básica - Productividad referencial de maquinaria intermedia	- Modelo de transición - Requiere ajustes logísticos moderados - Mejora progresiva en eficiencia y control
Alternativa 3: Siembra mecanizada	- Inversión inicial y vida útil del equipo - Requerimientos técnicos y operativos - Indicadores de precisión, trazabilidad y retorno económico	- Alta eficiencia operativa - Requiere rediseño del proceso - Mayor retorno a largo plazo si se gestiona adecuadamente

Nota. Elaboración propia. La tabla sintetiza las alternativas tecnológicas para el reemplazo del sistema de siembra, evaluadas según su nivel de tecnificación, datos requeridos y consideraciones operativas y estratégicas.

Finalmente, se estructura una tabla comparativa preliminar que sintetiza las características esenciales de cada alternativa en función de criterios estratégicos clave, sentando las bases para la subsiguiente evaluación cuantitativa.

Tabla 3.

Tabla comparativa preliminar de las alternativas

Criterio	**Siembra Manual**	**Siembra Semimecanizada**	**Siembra Mecanizada**
Precisión/Uniformidad	Baja (depende del operario)	Media (dependencia mixta máquina y operario)	Alta (automatización integral)

Requerimiento de datos	Nulos	Moderados (calibración y seguimiento básico)	Altos (parámetros técnicos, trazabilidad digital)
Facilidad de implementación	Alta (ya en operación)	Media (requiere capacitación técnica e inversión moderada)	Baja (requiere rediseño del proceso e inversión elevada)
Alineación estratégica	Limitada (modelo tradicional)	Media (transición gradual a la eficiencia)	Alta (visión a largo plazo)
Inversión requerida	No requiere	Alta	Alta
Dependencia de mano de obra	Muy alta	Media	Baja

Nota. Elaboración propia. La tabla resume las alternativas tecnológicas de siembra según precisión, datos requeridos y alineación estratégica, con base en literatura técnico-agroindustrial relevante.

3. Analizar y valorar las alternativas

El presente análisis se fundamenta en la identificación de las condiciones locales, la disponibilidad de recursos y los objetivos de producción específicos para el cultivo de caña de azúcar, la materia prima esencial del ingenio. En Ecuador, el precio de la tonelada de caña se establece a través de un consejo consultivo, considerando factores como el índice de inflación, los costos de producción (incluyendo insumos) y la demanda del mercado; este precio se ha mantenido en USD 35 por tonelada. Dada la diversidad geográfica y socioeconómica del país, la selección del método de plantación debe basarse en un análisis detallado del contexto local. En regiones con abundante mano de obra y terrenos irregulares, los métodos manual o semimecanizado pueden ser más apropiados. Por el contrario, en zonas con terrenos planos y acceso a capital, la mecanización completa podría ofrecer mayores beneficios a largo plazo.

Alternativa 1: Siembra Manual

La siembra manual de caña de azúcar es una práctica tradicional prevalente en regiones con terrenos irregulares o donde la mecanización es limitada. Este método implica la preparación manual del terreno, la selección y corte de esquejes de caña de aproximadamente 50 cm con 3 yemas, y su colocación manual en surcos preparados para

asegurar la germinación. Posteriormente, se cubren con tierra y se aplican labores de riego, fertilización y control de malezas.

Semillero	• Selección de semillero de caña de edad entre 8 a 10 meses
Preparación del lote definido	• Tapada de canales
Corte de caña manual	• Corte de semilla
Elaboración de paquetes de semilla	• Esqueje de 50 cm. • Contenga 3 yemas por esqueje
Transporte de semilla	• Flete de acuerdo a ruta, del semillero hacia el lote para siembra
Distribución de semilla	• Plantación manual de esquejes en doble hilera según tipo de cultivo
Surcado mecanizado	• Implemento surcador de doble hilera
Tapada y fertilizada mecanizada	• Implemento para tapar y fertilizar sobre hileras

En el contexto ecuatoriano, la caña de azúcar es un cultivo de gran importancia económica y social. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en 2023 se cosecharon 79.580 hectáreas de caña de azúcar, con una producción total de 6,3 millones de toneladas métricas, lo que representó una disminución del 19,2% respecto al año anterior.

La provincia del Guayas lidera la producción con el 80,1% de la superficie cosechada, seguida por Cañar (11,2%) y Los Ríos (3,0%). Esta actividad agrícola no solo contribuye significativamente al Producto Interno Bruto (PIB) agrícola del país, sino que también genera empleo y desarrollo en las zonas rurales.

A pesar de los avances tecnológicos, este método genera empleo en comunidades rurales y se adapta a terrenos difíciles para maquinaria pesada. No obstante, requiere una alta demanda de mano de obra y presenta menor eficiencia comparado con métodos mecanizados

Alternativa 2: Siembra Semimecanizada

La siembra semimecanizada representa una estrategia intermedia que conjuga la eficiencia de la maquinaria con la flexibilidad del trabajo manual. Implica el uso de tractores y equipos para abrir y cerrar surcos, mientras que la distribución y colocación de los esquejes se realiza manualmente. Este enfoque es idóneo para ingenios en regiones con terrenos irregulares o limitaciones económicas/logísticas para la mecanización total. Permite una reducción significativa de costos operativos al disminuir la dependencia de

mano de obra intensiva. Sin embargo, aún depende de la disponibilidad y capacitación de trabajadores para ciertas tareas.

Semillero	• Selección de semillero de caña de edad entre 8 a 10 meses
Preparación del lote definido	• Tapada de canales
Corte de caña mecanizada	• Corte de semilla mecanizada a través de Cosechadora de caña
Transporte de semilla	• Uso de camiones de autovolteo para alimentar la Sembradora semimecanizada
Distribución de semilla	• Plantación con Sembradora Semimecanizada (Surca, Fertiliza y Tapa) • Personal requerido en equipo semimecanizado para el depósito de esquejes

Estudios indican que puede alcanzar rendimientos comparables a la mecanización completa con buenas prácticas agrícolas y variedades de caña de alta calidad. Instituciones como el Banco Mundial y el FIDA reconocen su potencial para mejorar la sostenibilidad y eficiencia.

Alternativa 3: Siembra Mecanizada

La siembra mecanizada constituye una evolución en la agroindustria, priorizando eficiencia y sostenibilidad. Utiliza maquinaria especializada que automatiza procesos como la preparación del terreno, plantación y manejo inicial. Reduce la dependencia de mano de obra, mejora la uniformidad de la siembra y optimiza la planificación, resultando en mayor productividad y calidad del cultivo.

Semillero	• Selección de semillero de caña de edad entre 8 a 10 meses
Preparación del lote definido	• Tapada de canales
Corte de caña mecanizada	• Corte de semilla mecanizada a través de Cosechadora de caña
Transporte de semilla	• Uso de camiones de autovolteo para alimentar la Sembradora mecanizada
Distribución de semilla	• Plantación con Sembradora mecanizada (Surca, Siembra, Fertiliza y Tapa)

Aunque la inversión inicial en maquinaria es considerable, los beneficios a largo plazo la justifican. Estudios demuestran que puede reducir significativamente los costos operativos por tonelada cosechada; al aumentar la eficiencia del campo del 20% al 80%, el costo de producción por tonelada disminuyó un 91%, generando ahorros sustanciales. Esto incrementa la competitividad y resiliencia ante fluctuaciones del mercado.

La mecanización permite ampliar la escala productiva sin aumentar costos proporcionalmente, generando economías de escala. Según INTA (2022), la adopción de tecnología mecanizada puede incrementar la productividad hasta en un 15% y reducir pérdidas por retrasos o errores humanos. Financieramente, reduce la dependencia de la disponibilidad y costo creciente de trabajadores rurales en América Latina, constituyendo una estrategia robusta de mitigación de riesgos operativos (FAO, 2021). Por tanto, la siembra mecanizada emerge como la alternativa más viable para ingenios que buscan competitividad, eficiencia y sostenibilidad a largo plazo.

Análisis comparativo de las siembras

Para comparar las alternativas en función de los objetivos establecidos, se analizaron indicadores operativos y financieros.

Indicadores Operativos

El análisis operativo se centró en un programa de siembra promedio de 4.200 hectáreas, evaluando el costo total y el tiempo promedio de siembra por hectárea.

Tabla 4

Análisis del costo por hectárea

Actividad	Siembra manual ($/ha)	Siembra semimecanizada ($/ha)	Siembra mecanizada ($/ha)
Preparación de suelo	796	796	796
Semilla (material vegetal)	318	70	70
Transporte de semilla	49	30	30

Distribución de la semilla	537	400	225
Total	1.700 $/ha	1.296 $/ha	1.121 $/ha

Nota. Elaboración propia. Los valores presentados en esta tabla representan una estimación de los costos directos por hectárea asociados a la siembra de caña de azúcar bajo tres modalidades tecnológicas: manual, semimecanizada y mecanizada (John Deere, 2024; CENICAÑA, 2023; Cultivar, 2022).

Tabla 5

Tiempo promedio de siembra por hectárea

Actividad	Siembra manual (h/ha)	Siembra semimecanizada (h/ha)	Siembra mecanizada (h/ha)
Semilla (material vegetal)	5,5	2,5	1,0
Transporte de semilla	1,0	0,8	0,5
Distribución de la semilla	8,0	3,0	1,2
Total	14,5 h/ha	6,3 h/ha	2,7 h/ha

Nota: Elaboración propia. La tabla presenta el tiempo estimado en horas requeridas para completar la siembra de una hectárea de caña de azúcar, según el tipo de tecnología utilizada (CENICAÑA, 2023; INTA, 2022).

La siembra mecanizada es la opción más eficiente en tiempo y costos, con un costo total de USD 1.121/ha. y un tiempo de 2,7 horas/ha, lo que agiliza las labores y mejora la sincronización con otras actividades (John Deere, 2024). La siembra manual, en contraste, tiene un costo de USD 1.700/ha. y requiere 14,5 horas/ha, incrementando los costos por mano de obra y limitando la capacidad operativa. La semimecanizada es una solución intermedia, con USD 1.296/ha. y 6,3 horas/ha. Aunque menos eficiente que la mecanizada, es viable para ingenios con limitaciones de inversión o terrenos moderados (CENICAÑA, 2023). Ofrece una reducción del 23% en costo por hectárea frente a la siembra manual. La inversión en equipos mecanizados se amortiza rápidamente por el ahorro en mano de obra y el incremento de rendimiento (Cultivar, 2022).

Indicador: VAN y TIR

Los indicadores VAN y TIR permiten comparar la eficiencia económica considerando costos iniciales y beneficios esperados (ahorro operativo, aumento de productividad, reducción de tiempos). Su correcta aplicación ayuda a determinar qué alternativa maximiza el valor para los accionistas (FAO, 2020)

Alternativa 1: Siembra manual

El gasto anual en este sistema es de $10,888,500 USD, lo que evidencia la magnitud de la inversión requerida para establecer el cultivo a gran escala. Esta operación comprendió tanto la adquisición de semilla, el transporte, como las labores de distribución en campo, realizadas bajo distintos niveles de mecanización. En consonancia con las recomendaciones técnicas descritas por Enciso (2022), el cálculo del costo operativo fue estructurado con base en componentes fijos y variables, lo que permite una evaluación financiera integral del rendimiento y sostenibilidad de la inversión. Esta etapa inicial constituye la base para proyectar ingresos futuros, optimizar el uso de recursos y asegurar la rentabilidad del ciclo productivo.

Tabla 6

Flujo de efectivo operativo de siembra manual

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos esperados					
Precio	$2,975	$2,975	$2,975	$2,975	$2,975
Cantidad	4,200	4,200	4,200	4,200	4,200
Total de Ingresos esperados	$12,495,000	$12,495,000	$12,495,000	$12,495,000	$12,495,000
Costos					
Costo de operación	$7,140,000	$7,140,000	$7,140,000	$7,140,000	$7,140,000
Gastos de operación	$2,249,100	$2,249,100	$2,249,100	$2,249,100	$2,249,100
Gastos administración	$1,499,400	$1,499,400	$1,499,400	$1,499,400	$1,499,400
Total de gastos	$10,888,500	$10,888,500	$10,888,500	$10,888,500	$10,888,500
Utilidad operativa	$1,606,500	$1,606,500	$1,606,500	$1,606,500	$1,606,500
Utilidad antes de impuestos	$1,606,500	$1,606,500	$1,606,500	$1,606,500	$1,606,500

Impuestos	$582,356.25	$582,356.25	$582,356.25	$582,356.25	$582,356.25
Utilidad después de impuestos	$1,024,143.75	$1,024,143.75	$1,024,143.75	$1,024,143.75	$1,024,143.75
Flujo de caja	**$1,024,143.75**	**$1,024,143.75**	**$1,024,143.75**	**$1,024,143.75**	**$1,024,143.75**

VAN: $ 3,353,347.38 USD

TIR: No existe

El flujo de caja operativo de la siembra manual muestra estabilidad durante los cinco años del proyecto, con ingresos constantes de $12,495,000 y egresos fijos de $10,888,500, generando una utilidad neta anual de $1,024,143.75 tras impuestos. Se determinó un VAN positivo de $3,353,347.38 sugiere que el proyecto agrega valor económico en términos actuales. Esto lo convierte en una opción aún rentable bajo un enfoque de valor presente neto, al no contar con inversión inicial el TIR no existe. En conjunto, los resultados apoyan la viabilidad financiera de continuar con la siembra manual.

Alternativa 2: Siembra semimecanizada

Al incorporar la inversión inicial de $3,412,000 USD en equipo agrícola —que incluye: 7 sembradoras semimecanizadas, 4 vagones autovolteo, 1 kit de semilla, 1 cosechadora de caña y 11 tractores— al flujo de caja proyectado para la siembra de caña de azúcar 2024–2029, se realizó una evaluación financiera con depreciación lineal a cinco años. Este enfoque permite reflejar con mayor precisión la amortización del capital invertido, en concordancia con las recomendaciones metodológicas para el cálculo de costos operativos en agricultura semimecanizada (Enciso, 2022).

Tabla 7

Flujo de efectivo operativo de siembra semimecanizada

	Año 0	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**	**Año 5**
Ingresos esperados						
Precio		$2,975	$2,975	$2,975	$2,975	$2,975
Cantidad		4,200	4,200	4,200	4,200	4,200
Total de Ingresos esperados		$12,495,000	$12,495,000	$12,495,000	$12,495,000	$12,495,000
Costos						
Costo de operación		$5,443,2000	$5,443,2000	$5,443,2000	$5,443,2000	$5,443,2000
Gastos de operación		$1,999,200	$1,999,200	$1,999,200	$1,999,200	$1,999,200

Gastos administración		$1,249,500	$1,249,500	$1,249,500	$1,249,500	$1,249,500
Total de gastos		$8,691,900	$8,691,900	$8,691,900	$8,691,900	$8,691,900
Utilidad operativa		$3,803,100	$3,803,100	$3,803,100	$3,803,100	$3,803,100
Depreciación		$682,400	$682,400	$682,400	$682,400	$682,400
Utilidad antes de impuestos		$3,120,700	$3,120,700	$3,120,700	$3,120,700	$3,120,700
Impuestos		$1,131,253.75	$1,131,253.75	$1,131,253.75	$1,131,253.75	$1,131,253.75
Utilidad después de impuestos		$1,989,446.25	$1,989,446.25	$1,989,446.25	$1,989,446.25	$1,989,446.25
Depreciación		$682,400	$682,400	$682,400	$682,400	$682,400
Inversión de equipo	$3,412,000					
Flujo de caja	**-$3,412,000**	**$2,671,846,25**	**$2,671,846,25**	**$2,671,846,25**	**$2,671,846,25**	**$2,671,846,25**

TIR: 73%

VAN: $8,748,409.22 USD

Los resultados del análisis financiero reflejan una situación altamente favorable para la inversión en la siembra semimecanizada de caña de azúcar, bajo las condiciones planteadas. El proyecto presenta un **Valor Actual Neto (VAN)** de $8,748,409.22 USD y un TIR del 73%.

Alternativa 3: Siembra mecanizada

Se incorpora una inversión inicial de $1,700,000 USD destinada a la adquisición de equipo agrícola para la siembra mecanizada. Dicha inversión fue amortizada mediante una depreciación lineal a cinco años, lo cual permite reflejar con mayor precisión el desgaste económico del activo fijo a lo largo del tiempo (Enciso, 2022). El flujo de caja resultante considera ingresos constantes de $12,495,000 USD anuales.

Tabla 8

Flujo de efectivo operativo de siembra mecanizada

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5

Ingresos esperados						
Precio		$2,975	$2,975	$2,975	$2,975	$2,975
Cantidad		4,200	4,200	4,200	4,200	4,200
Total de Ingresos esperados		$12,495,000	$12,495,000	$12,495,000	$12,495,000	$12,495,000
Costos						
Costo de operación		$4,708,200	$4,708,200	$4,708,200	$4,708,200	$4,708,200
Gastos de operación		$1,749,300	$1,749,300	$1,749,300	$1,749,300	$1,749,300
Gastos administración		$999,600	$999,600	$999,600	$999,600	$999,600
Total de gastos		$7,457,100	$7,457,100	$7,457,100	$7,457,100	$7,457,100
Utilidad operativa		$5,037,900	$5,037,900	$5,037,900	$5,037,900	$5,037,900
Depreciación		$340,000	$340,000	$340,000	$340,000	$340,000
Utilidad antes de impuestos		$4,697,900	$4,697,900	$4,697,900	$4,697,900	$4,697,900
Impuestos		$1,702,988.75	$1,702,988.75	$1,702,988.75	$1,702,988.75	$1,702,988.75
Utilidad después de impuestos		$2,994,911.25	$2,994,911.25	$2,994,911.25	$2,994,911.25	$2,994,911.25
Deprecación		$340,000	$340,000	$340,000	$340,000	$340,000
Inversión de equipo	$1,700,000					
Flujo de caja	**-$1,700,000**	**$3,334,911,25**	**$3,334,911,25**	**$3,334,911,25**	**$3,334,911,25**	**$3,334,911,25**

VAN: $10,919,478.74 USD

TIR: 195%

Los resultados financieros muestran un Valor Actual Neto (VAN) de $10,919,478.74 USD, lo que indica que el proyecto es financieramente viable, al generar un excedente neto de valor sobre la inversión inicial, aun considerando los costos operativos y la depreciación del capital.

En conclusión, el modelo mecanizado ofrece la mejor relación costo-beneficio, manteniendo altos niveles de eficiencia económica y escalabilidad.

Cumplimiento de Objetivos

La evaluación con base en los objetivos estratégicos definidos muestra que:

- **Objetivo 1 (VAN > USD 50.000):** Todas las alternativas cumplen este objetivo, siendo la mecanizada la más rentable con un VAN de $10.919.478,74 USD.
- **Objetivo 2 (TIR >= 15%):** Las alternativas semimecanizada (73%) y mecanizada (195%) cumplen. La manual no permite cálculo de TIR.
- **Objetivo 3 (Reducción de Costo por Hectárea >= 5%):** Las alternativas semimecanizada (23,8%) y mecanizada (34,1%) superan ampliamente el objetivo.
- **Objetivo 4 (Reducción de Tiempo por Hectárea >= 15%):** Las alternativas semimecanizada (56,6%) y mecanizada (81,4%) cumplen el objetivo.

Con base en estos resultados, se recomienda seleccionar la alternativa de siembra mecanizada por superar ampliamente todos los objetivos estratégicos, ofreciendo el mayor VAN y TIR, y reduciendo significativamente costo y tiempo por hectárea. Esto garantiza competitividad, sostenibilidad y escalabilidad.

Evaluación de Pros y Contras

Con la información anterior, se resumen los puntos Pro (positivos) y Contra (negativos) de cada alternativa que fundamenta la evaluación y selección de la siembra de la caña de azúcar con mayores beneficios para el ingenio.

Tabla 9

Análisis de Pros y Contras de las alternativas

Alternativa a Utilizar	Pro	Cons
Alternativa 1: Siembra manual	No requiere inversión inicial en maquinaria.	Alta dependencia de la disponibilidad de mano de obra.
	Proceso ampliamente conocido y dominado por toda la organización.	Costos operativos elevados asociado al componente laboral.
	Impacto social positivo, al generar amplias plazas de trabajo manual.	Baja productividad en términos de superficie sembrada por unidad de tiempo.
	Adaptabilidad a terrenos irregulares o de difícil acceso.	Escasez proyectada de mano de obra en el mediano plazo.
	Menor consumo de semilla en comparación con alternativas mecanizadas.	Variabilidad en la calidad de siembra, dependiente del jornalero.
	Jornadas laborales en horario diurno.	

	Mantiene la práctica agrícola tradicional y culturalmente valorada.	Limitada capacidad de respuesta ante incrementos en el área de siembra. Imposibilidad de automatizar la captura de datos para trazabilidad del proceso. Alta rotación de personal. Mayor incidencia de enfermedades musculoesqueléticas en el personal de siembra. Elevada necesidad de supervisión en campo para garantizar estándares mínimos. Riesgo de incremento de ausentismo.
Alternativa 2: Siembra semimecanizada	Mejora en eficiencia operativa respecto a la siembra manual. Reducción intermedia en los costos operativos. Aumento de velocidad de siembra frente al método manual. Retorno de inversión (ROI) y Valor Actual Neto (VAN) en niveles aceptables. Reducción moderada del riesgo de lesiones musculoesqueléticas. Alternativa de transición ordenada hacia la mecanización total. Requiere capacitación técnica intermedia.	Mayor inversión total comparada con la siembra mecanizada para igual velocidad. Potencial afectación en la percepción comunitaria por reducción de empleo. Requiere establecer jornadas laborales de doble turno para cumplir cronogramas de siembra. Mayor necesidad de precisión en labores de mantenimiento. Incremento estimado del 10% en el consumo de semilla. Impacto social negativo por disminución de plazas laborales tradicionales Paradas imprevistas en equipos pueden generar impactos operativos de magnitud media. Riesgo de golpes y atrapamiento para los operadores. Necesidad de provisión anticipada de stock de repuestos críticos.
Alternativa 3: Siembra mecanizada	Solución estratégica que impulsa la sostenibilidad del proceso agrícola. Proceso de siembra altamente eficiente y estandarizado.	Requiere precisión en la planificación y coordinación operativa/logística. Requiere la provisión anticipada de stock de repuestos críticos.

Mayor ROI y VAN comparado con las otras alternativas evaluadas.	Impacto social negativo importante por reducción masiva de empleo.
Inversión relativamente menor al considerar costo-beneficio frente a la semimecanización.	Incremento del 20% en el consumo de semilla.
Reducción significativa de los costos operativos por hectárea sembrada.	Requiere establecer jornadas laborales de doble turno para cumplir cronogramas de siembra.
Mejoramiento sustancial en la trazabilidad y control de datos del proceso agrícola.	Incertidumbre inicial por falta de experiencia de local.
Alta escalabilidad y flexibilidad para adaptarse a diferentes necesidades de plantación.	Paras en equipos pueden tener un impacto operativo significativo.
Disminución considerable de lesiones musculoesqueléticas en el personal operativo.	
Transferencia de conocimiento de ingenios exitosos en otros países de países.	
Desarrollo de competencias técnicas especializadas.	
Flexibilidad de configuración de variables en equipo.	

Nota. Elaboración propia.

Desde una perspectiva estratégica, la mecanización integral se distingue por su potencial para transformar el sistema de siembra, ofreciendo eficiencias superiores y mayor resiliencia operativa y económica a largo plazo, a pesar de los retos asociados a la inversión, la gestión logística y el impacto social. La ponderación conjunta de estos aspectos cualitativos con el análisis de indicadores cuantitativos resulta indispensable para una decisión informada y estratégica.

4. Evaluar riesgos de la alternativa seleccionada

La implementación del sistema de siembra mecanizada en un ingenio en el Ecuador representa un cambio estructural en la operación agrícola. Si bien ofrece mejoras sustanciales en eficiencia, costos y trazabilidad, conlleva una serie de riesgos que deben ser

gestionados para garantizar su sostenibilidad. A continuación, se detallan los riesgos más relevantes, junto con su nivel de impacto y probabilidad estimada.

Tabla 10

Calificación Matriz de Riesgo

			Impacto				
			Insignificante	Menor	Moderada	Importante	Catastrófica
		Nivel	1	2	3	4	5
Probabilidad	Remota (< 15%)	1	1	2	3	4	5
	Improbable (entre 15 y 35%)	2	2	4	6	8	10
	Probable (entre 35 y 55%)	3	3	6	9	12	15
	Esperable (entre 55 y 70%)	4	4	8	12	16	20
	Casi cierto (> 70%)	5	5	10	15	20	25

Riesgo	Bajo	Medio	Medio Alto	Alto
Identificador				

Nota. Elaboración propia.

Tabla 11

Criterio de Evaluación del Impacto de los riesgos

Impacto	Presupuesto (USD)	Plazo (días)	Salud / Seguridad	Operacional	Medio Ambiente	Social – Reputacional	Legal / Financiero
Catastrófica	Sobrecosto > 50%	Retraso > 40%	Múltiples fatalidades o impactos fatales múltiples	Interrupción de procesos clave > 48 h	Daño ambiental irreversible, remediación > 5 años	Crisis mediática nacional/internacional. Movilización de comunidades que paralizan operaciones.	Disolución de la compañía, penas de cárcel, suspensión total de operaciones.
Importante	Sobrecosto entre 20% y 50%	Retraso entre 25% y 40%	Una fatalidad o impacto fatal	Interrupción de procesos clave entre 24 y 48 h	Daño ambiental alto, remediación entre 3 y 5 años	Atención mediática nacional prolongada. Movilización parcial de comunidades.	Demandas judiciales y multas importantes. Cambios regulatorios que exigen modificar procesos.
Moderada	Sobrecosto entre 10% y 20%	Retraso entre 20% y 25%	Discapacidad permanente o enfermedad profesional grave	Interrupción de procesos clave < 24 h o procesos no clave entre 4 y 10 días	Daño ambiental moderado, remediación entre 1 y 3 años	Difusión en medios locales. Denuncias ciudadanas formales.	Sanciones regulatorias importantes o formulación de cargos por organismos de control.
Menor	Sobrecosto entre 5% y 10%	Retraso entre 10% y 20%	Enfermedad profesional reversible o incidente con tiempo perdido	Interrupción de procesos no clave entre 1 y 4 días	Daño ambiental menor, remediación entre 6 y 12 meses	Reclamos locales aislados. Atención limitada en redes sociales.	Multas menores o requerimientos de mejora documentados por autoridades.
Insignificante	Sobrecosto < 5%	Retraso < 10%	Solo primeros auxilios o sin afectación	Interrupción de procesos no clave < 24 h	Daño ambiental muy bajo, remediación < 6 meses	Sin repercusión pública. Reclamos puntuales por canales establecidos.	Sin efectos regulatorios o solo recomendaciones menores de fiscalización.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 12

Matriz de Riesgo del proyecto

Riesgo	Probabilidad	Impacto	Nivel de riesgo	Plan de Mitigación	Resultado	FODA	Acción de Contingencia
Resistencia al cambio de mandos medios de las operaciones de siembra y áreas relacionadas	Casi cierto	Moderada	MEDIO ALTO	Incluir al personal desde el inicio y capacitar sobre beneficios.	15	Amenaza: Resistencia al cambio	Implementar reuniones extraordinarias de refuerzo y designar "champions" del cambio.
Uso de semillas más alto del esperado	Casi cierto	Moderada	MEDIO ALTO	Control y ajuste de los parámetros de flujo de distribución de semilla con el personal interno.	15	Debilidad: Escasa experiencia del personal en manejo de sembradoras	Realizar una calibración o reparación de la maquinaria con el soporte técnico de la marca
Fallas operacionales por falta de formación del personal	Probable	Importante	MEDIO ALTO	Desarrollo de un programa de formación teórico-práctico en colaboración con el proveedor.	12	Debilidad: Escasa experiencia del personal en manejo de sembradoras	Reentrenamiento intensivo en campo en turnos adicionales.
Fallas en equipos debido a paros por desgaste o mal uso	Probable	Importante	MEDIO ALTO	Entrenamiento técnico para operadores y un plan riguroso de inspecciones preventivas	12	Debilidad: Escasa experiencia del personal en manejo de	Reentrenamiento intensivo en campo en turnos adicionales.

						sembradoras	
Demoras en la reparación de equipos por falta de repuestos	Probable	Importante	MEDIO ALTO	Crear stock mínimo de repuestos críticos y realizar benchmarking con otros ingenios que utilizan maquinaria similar	12	Amenaza: Escasez de repuestos y servicio técnico local	Activar stock de repuestos rápidos y pedir soporte técnico urgente al proveedor.
Tiempos promedio de siembra por hectárea más alto del esperado	Probable	Moderada	MEDIO	Validar con prueba piloto de 200 Ha.	9	Debilidad: Proceso de siembra mecanizada no estandarizado	Realizar una planificación detallada de la logística interna, con puntos de carga específico y personal necesario.
Precios elevados en compra de los equipos por guerra comercial de EEUU	Probable	Menor	MEDIO	Buscar proveedores de maquinaria procedentes de otros países	6	Amenaza: Incremento en costos de maquinaria importada debido a tensiones comerciales internacionales	Renegociar contratos, extender plazos de pago, buscar financiamiento local.
Accidente laboral por mala manipulación de los nuevos equipos	Improbable	Moderada	MEDIO	Sólo personal capacitado y autorizado intervenga en maniobras técnicas y correctivas	6	Debilidad: Escasa experiencia del personal en manejo	Activar brigadas de emergencia interna y seguro de accidentes vigente.

						de sembradoras	
Descontento en la comunidad por la baja de plazas de trabajo para labores manuales	Probable	Menor	MEDIO	Desarrollar un plan de comunicación comunitaria transparente y promover capacitación del personal desplazado hacia funciones técnicas dentro de la industria	6	Amenaza: Posible percepción negativa en la comunidad local debido a la reducción de plazas de empleo manual.	Implementar programas de capacitación para nuevos puestos técnicos.

Nota. Elaboración propia.

El análisis muestra que los principales riesgos se concentran en tres áreas críticas: resistencia organizacional, capacitación técnica, y disponibilidad de recursos logísticos y mecánicos. Varios de ellos alcanzan niveles de impacto medio alto, por lo que deben ser priorizados en el plan de implementación.

Las acciones de mitigación propuestas buscan no solo reducir la probabilidad de ocurrencia, sino también fortalecer el entorno operativo y social del ingenio, asegurando una transición progresiva, sustentable y aceptada hacia la modernización del sistema de siembra.

5. Plan de implementación

Este plan de implementación detalla el proceso estratégico para modernizar el sistema de siembra del ingenio a través de la mecanización. Su propósito es optimizar la eficiencia operativa, mitigar la escasez de mano de obra y asegurar la sostenibilidad productiva a largo plazo. Estructurado en seis fases, el plan integra hitos clave para una gestión proactiva y controlada de la transición.

Fases de Implementación y Hitos Clave:

Fase 1: Evaluación Técnica y Viabilidad (Meses 1–2)

El viaje hacia la mecanización se inicia con una fase crítica de análisis y confirmación. Se aborda un diagnóstico exhaustivo del terreno, evaluando aspectos agronómicos y logísticos esenciales para la operación de maquinaria pesada. Paralelamente, se realiza un análisis comparativo riguroso de costos y eficiencias entre el sistema manual actual y la propuesta mecanizada, identificando con precisión las diferencias en rendimiento operativo y las implicaciones en el consumo de insumos. Esta etapa, enriquecida por el benchmarking con experiencias en ingenios de la región, culmina con la proyección financiera del caso de negocio, un hito definitorio en esta fase.

Fase 2: Preparación Organizacional y Gestión del Cambio (Meses 3–5)

Validada la viabilidad, el proyecto transita hacia una fase de arraigo institucional y adaptación humana. El proceso se eleva al ámbito estratégico con la presentación formal del plan ante el Directorio del ingenio, cuya aprobación confiere la legitimidad necesaria y desbloquea la asignación de recursos. Un hito central de esta etapa es la Conformación del Comité de Transformación Agrícola, un cuerpo de gobernanza interdepartamental esencial para la dirección estratégica, la toma de decisiones ágiles y el monitoreo continuo. Simultáneamente, se despliega una estrategia de gestión del cambio que, mediante talleres y comunicación transparente, busca alinear a los mandos medios y disipar resistencias, anticipando la reconfiguración de roles. Se inicia el diseño del plan de formación técnica y una estrategia proactiva de vinculación comunitaria para gestionar el impacto social y explorar oportunidades de reentrenamiento.

Fase 3: Adquisición y Puesta a Punto de Equipos (Meses 4–6)

Con la organización alineada y preparada, esta fase materializa la inversión estratégica mediante la adquisición de la maquinaria especializada. El proceso inicia con un hito logístico fundamental: la Compra de los equipos. A partir de ese momento, se compromete al proveedor el cumplimiento de los plazos de entrega para conseguir oportunamente la disponibilidad física de los activos, permitiendo iniciar las labores de instalación y configuración inicial en campo. La puesta a punto asegura que los equipos estén calibrados y listos para operar en las condiciones específicas del terreno.

Fase 4: Prueba Piloto y Ajuste Inicial (Meses 7–8)

La validación operativa del nuevo sistema se concentra en esta fase crucial. Se ejecuta una prueba piloto en un lote representativo (200 hectáreas), donde se observa el desempeño de la maquinaria, se ajustan parámetros de operación (dosificación, velocidad) y se evalúan indicadores clave de calidad de siembra. La recopilación sistemática de datos y la retroalimentación del personal son esenciales para identificar puntos de mejora y realizar los ajustes necesarios antes de escalar la operación. La culminación formal de esta etapa de validación se plasma en el Informe de Evaluación del Piloto, documento que consolida los hallazgos, valida la operatividad del sistema y provee recomendaciones críticas para el despliegue a mayor escala.

Fase 5: Escalamiento Operacional (Meses 8–10)

Superada la fase piloto y asimilados los aprendizajes iniciales, el plan avanza hacia el despliegue progresivo del sistema mecanizado en una extensión mayor del área agrícola. Se define un calendario de siembra optimizado, priorizando lotes con condiciones favorables y asegurando la disponibilidad de los recursos logísticos necesarios. Durante esta fase, se consolidan los nuevos roles técnicos y operativos, se estandarizan los procedimientos de siembra y se optimiza la logística de abastecimiento de semilla. El monitoreo continuo de indicadores operativos clave (velocidad efectiva, uso de repuestos, tiempos muertos) es intensificado para garantizar la eficiencia a medida que aumenta la superficie bajo manejo mecanizado. La gestión social continúa mediante la promoción de contratación local y el apoyo a programas de reconversión laboral.

Fase 6: Consolidación, Monitoreo y Mejora Continua (Meses 9–10)

La fase final busca institucionalizar el sistema mecanizado como el modelo operativo estándar y asegurar su optimización a largo plazo. Los aprendizajes acumulados se sistematizan para refinar protocolos y formalizar perfiles laborales adaptados a la tecnología. Se implementan mecanismos robustos de monitoreo, incluyendo tableros de control y reportes periódicos, facilitando una gestión basada en datos y la identificación proactiva de áreas de mejora. La interacción con la comunidad se mantiene activa, explorando alianzas que potencien el impacto social positivo. La culminación formal del plan de implementación y la capitalización del conocimiento adquirido se documentan en el Informe Final de Evaluación de Plan de Implementación, un entregable clave que cierra formalmente el ciclo del proyecto y sienta las bases para la mejora continua del sistema de siembra mecanizada en el futuro del ingenio.

La correcta ejecución de este plan multifásico, guiada por sus hitos de control, capitalizará los beneficios de la siembra mecanizada. Esto resultará en una operación agrícola más eficiente y competitiva, fortaleciendo la resiliencia del ingenio frente a los desafíos del sector.

Para asegurar una ejecución ordenada, eficiente y alineada con los objetivos estratégicos del proyecto, se ha estructurado un plan de implementación dividido en cinco fases secuenciales. Cada fase contempla actividades específicas, responsables asignados y una distribución temporal estimada, lo cual permite anticipar recursos, gestionar riesgos y monitorear avances de forma sistemática. A continuación, se presenta el cronograma tipo Gantt que sintetiza las etapas del proyecto, facilitando su seguimiento y control durante el proceso de modernización del sistema de siembra.

			Mes									
Fases	**Actividad**	**Responsable**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Fase 1: Evaluación Técnica y Viabilidad	Diagnóstico de campo: análisis de suelo, pendiente, accesos y compatibilidad mecánica.	Director de Campo										
	Análisis comparativo de costos entre siembra manual y mecanizada.	Gerente de Operaciones										
	Identificación de beneficios operativos y puntos desfavorables.	Director de Tractores										
	Benchmarking con ingenios de la región que ya utilizan siembra mecanizada.	Gerente de Operaciones										
	Proyección técnica y financiera del proyecto.	Gerente de Operaciones		◆								
Fase 2: Preparación Organizacional y Gestión del Cambio	Presentación formal del proyecto al Directorio (aprobación).	Gerente de Operaciones			◆							
	Conformación del Comité de Transformación Agrícola (Gobernanza del Proyecto)	Gerente General			◆							
	Talleres de sensibilización con mandos medios y personal operativo.	Director de Tractores										
	Diseño e inicio del plan de formación técnica.	Director de Tractores										
	Comunicación temprana con comunidades locales y trabajadores manuales.	Coordinador de Relaciones Comunitarias										
Fase 3: Adquisición y Puesta a punto de	Compra de sembradora, tractor, cosechadora y autovolteo.	Jefe de Compras										
	Envío de equipos (Tránsito)	Proveedor				◆						
	Llegada y Recepción de equipos en el ingenio	Jefe de Compras										
	Instalación y configuración de equipos en campo.	Director de Tractores										

Equipos													
Fase 4: Prueba Piloto y Ajuste Inicial	Inicio de la prueba piloto en 200 hectáreas.	Director de Tractores							◆				
	Evaluación técnica del desempeño operativo y ajustes de parámetros.	Director de Tractores											
	Informe de Evaluación del Piloto	Director de Campo								◆			
Fase 5: Escalamiento Operacional	Planificación de lotes y rutas para siembra a mayor escala.	Director de Campo											
	Contratación local y ejecución de programas de reconversión laboral.	Jefe de Recursos Humanos											
	Formación de frentes de trabajo con roles adaptados.	Gerente de Operaciones											
	Monitoreo técnico y logístico en condiciones reales.	Director de Tractores											
Fase 6: Consolidación, Monitoreo y Mejora Continua	Sistematización de aprendizajes.	Director de Campo											
	Informe Final de Evaluación de Plan de Implementación	Director de Campo											◆
	Estandarización de procedimientos y certificación de personal.	Director de Campo											
	Activación de tableros de monitoreo operativo.	Director de Campo											
	Mantenimiento del vínculo comunitario y alianzas formativas.	Coordinador de Relaciones Comunitarias											

◆ Hitos relevantes del proyecto.

6. Conclusiones

El riguroso análisis técnico-económico presentado demuestra de manera concluyente la superioridad de la siembra mecanizada integral. Los indicadores financieros son elocuentes: un Valor Actual Neto (VAN) de $10.92 millones y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 195% no solo validan la rentabilidad de la inversión, sino que la posicionan como un motor de creación de valor sustancial para el ingenio. Operativamente, la transformación es igualmente impactante, con una reducción del 34.1% en costos directos por hectárea y una drástica disminución del 81.4% en el tiempo de siembra. Estas cifras, por sí solas, justifican la transición.

Sin embargo, una lectura estratégica de este proyecto revela aprendizajes organizacionales que son, quizás, aún más valiosos y trascienden la optimización de un proceso agrícola:

1. **La Modernización como Metamorfosis Cultural:** Este proyecto ha desvelado que la verdadera modernización no reside únicamente en la adquisición de maquinaria avanzada, sino en la capacidad de la organización para abrazar una transformación cultural profunda. Superar la inercia y las "creencias limitantes" identificadas en el diagnóstico (como la percepción de mayor consumo de semilla o la resistencia de mandos medios) requiere un liderazgo visionario y una gestión del cambio meticulosa y empática. El ingenio no solo está adoptando nueva tecnología, está reconfigurando su ADN operativo.
2. **La Gestión del Cambio como Competencia Central, No como Tarea Aislada:** El análisis de riesgos y el plan de implementación subrayan que la gestión del cambio no es un apéndice del proyecto, sino una competencia organizacional crítica y continua. La resistencia interna, la adaptación a nuevos roles y la gestión del impacto social no son obstáculos puntuales, sino manifestaciones de la dinámica humana ante la transformación. Este proyecto debe ser el catalizador para institucionalizar la gestión del cambio como una capacidad permanente.
3. **Del Silo Agrícola a la Visión Integrada de Agroindustria:** La brecha identificada entre la innovación en planta industrial y el tradicionalismo en campo es un llamado a forjar una visión estratégica verdaderamente integrada. La siembra mecanizada es una pieza de un rompecabezas mayor que debe incluir la digitalización, la trazabilidad y la agricultura de precisión, conectando de manera fluida y eficiente las operaciones de campo con los procesos industriales y las demandas del mercado.
4. **El Riesgo como Brújula Estratégica y Fuente de Resiliencia:** La identificación y evaluación de riesgos (resistencia al cambio, fallas operacionales, disponibilidad de repuestos, impacto social) no solo ha permitido diseñar planes de mitigación, sino que ha fortalecido la conciencia organizacional sobre sus vulnerabilidades. Este ejercicio debe evolucionar hacia una cultura proactiva de gestión de riesgos, donde anticipar y prepararse para los desafíos se convierta en una ventaja competitiva y un pilar de la resiliencia del ingenio.
5. **Adaptación al Entorno como Imperativo de Supervivencia y Liderazgo:** La ineludible tendencia de disminución de la mano de obra rural y el incremento de sus costos no es una simple variable, sino una fuerza transformadora del entorno. La

siembra mecanizada, al reducir drásticamente la dependencia de la mano de obra manual, no solo optimiza costos, sino que asegura la sostenibilidad operativa y la capacidad de respuesta del ingenio ante un cambio estructural del mercado laboral agrícola. Esta adaptación proactiva es clave para el liderazgo futuro.

En esencia, la modernización del sistema de siembra es mucho más que un proyecto de mejora de eficiencia; es una **palanca estratégica para catalizar una evolución integral del ingenio**, preparándolo no solo para los desafíos actuales, sino para capitalizar las oportunidades del futuro agroindustrial.

7. Recomendaciones

Partiendo de las conclusiones y de las recomendaciones ya sólidamente fundamentadas en el documento (implementación piloto, Comité de Transformación, gestión del cambio y capacitación, vinculación comunitaria y monitoreo continuo), proponemos las siguientes recomendaciones adicionales, diseñadas para potenciar el impacto del proyecto y asegurar una transformación sólida:

I. Gobernanza y Gestión de Riesgos Evolucionada:

1. **Potenciar el Comité de Transformación Agrícola con un Mandato de Aprendizaje Continuo:** Más allá de la supervisión del proyecto, este comité debe convertirse en un motor de aprendizaje organizacional y adaptación estratégica. Asignarle la tarea de revisar trimestralmente no solo los avances del plan, sino también la efectividad de las estrategias de mitigación de riesgos, la captura de lecciones aprendidas y la identificación de nuevas oportunidades de mejora o innovación derivadas del proceso de mecanización.
2. **Implementar un Sistema Dinámico de "Vigilancia Estratégica y Tecnológica Agroindustrial":** Crear una pequeña célula o función (puede ser parte del Comité o un rol específico) dedicada a monitorear continuamente:
    - Nuevas tecnologías y prácticas en siembra y gestión agrícola a nivel global.
    - Riesgos emergentes (climáticos, regulatorios, de mercado, nuevas plagas/enfermedades) que puedan impactar la operación.
    - Evolución de los costos y disponibilidad de insumos clave y repuestos. Esto permitirá al ingenio anticiparse y no solo reaccionar a los cambios.
3. **Desarrollar Protocolos de "Respuesta Ágil" para Riesgos Críticos (Simulacros y Planes Vivos):** Para los riesgos identificados como "Medio Alto" o "Alto" (ej. fallas prolongadas de equipo clave, problemas logísticos severos), no basta con el plan de mitigación. Se recomienda:
    - Realizar simulacros periódicos para probar la efectividad de los planes de contingencia.

- Mantener los planes de contingencia como "documentos vivos", actualizándolos después de cada simulacro o evento real.

4. **Fomentar una Cultura de "Seguridad Psicológica" para el Reporte Proactivo de Riesgos y Errores:** Es crucial que el personal, desde el operador de maquinaria hasta el supervisor, se sienta con la confianza de reportar errores, cuasi-accidentes o riesgos potenciales sin temor a represalias. Esto es vital para la detección temprana y la prevención, transformando los errores en oportunidades de aprendizaje.

II. Capital Humano e Innovación como Pilares de la Transformación:

5. **Invertir en el "Liderazgo para la Transformación" de los Mandos Medios:** Los mandos medios son cruciales para el éxito. Más allá de la capacitación técnica, desarrollar programas específicos de liderazgo, comunicación efectiva, gestión de equipos en entornos de cambio y fomento de la innovación para este nivel gerencial. Ellos son los traductores de la estrategia en la operación diaria.
6. **Establecer un "Laboratorio de Innovación Agrícola" o "Finca Experimental Digital":** Designar un área específica o un conjunto de parcelas para:
    - Probar de forma controlada nuevas tecnologías complementarias (sensores IoT, drones para monitoreo, software de gestión agrícola avanzada, variedades de caña).
    - Experimentar con diferentes densidades de siembra, técnicas de fertilización de precisión, etc., habilitadas por la mecanización.
    - Servir como centro de capacitación práctica avanzada y de demostración.

III. Visión de Futuro y Creación de Valor Sostenible:

8. **Diseñar una Hoja de Ruta para la "Digitalización Integral del Campo":** Que la siembra mecanizada sea el primer paso hacia una transformación digital completa. Planificar la integración de datos de maquinaria, sensores en campo, información climática y datos de rendimiento en una plataforma analítica que permita la toma de decisiones predictiva y optimizada en tiempo real para todas las labores agrícolas.
9. **Convertir el Impacto Social en una Oportunidad de "Valor Compartido":** Ir más allá de la mitigación del impacto por reducción de empleo manual. Explorar activamente:
    - **Programas de emprendimiento** para ex-trabajadores en actividades conexas (ej. servicios de mantenimiento especializado para la nueva maquinaria, producción de insumos).
    - **Alianzas con instituciones educativas locales** para formar técnicos agrícolas adaptados a las nuevas realidades tecnológicas del ingenio, creando un semillero de talento local.
10. **Comunicar Estratégicamente la Transformación como Ventaja Competitiva:** Una vez que la implementación esté consolidada y los beneficios sean tangibles, desarrollar un plan de comunicación (interno y externo) para:

- **Interno:** Reforzar la moral, celebrar los logros y consolidar la cultura de innovación y eficiencia.
- **Externo:** Posicionar al ingenio como un líder en modernización, sostenibilidad y eficiencia en la industria azucarera, lo cual puede atraer talento, inversores y fortalecer la relación con stakeholders clave.

Referencias

Asocaña. (2022). *Estadísticas de producción y productividad en ingenios colombianos*. https://www.asocana.org

Banco Mundial. (2021). *The Future of Food: Harnessing Digital Technologies to Improve Food System Outcomes*. Washington, DC: World Bank. https://www.worldbank.org

Baudron, F., Sims, B. G., Justice, S. E., & Kahan, D. (2015). Re-examining appropriate mechanization in sub-Saharan Africa: Two-wheel tractors, conservation agriculture, and private sector involvement. Food Security, 7(4), 889–904.

Bravo, C., & Ayala, E. (2018). Optimización de procesos agrícolas en función del tiempo operativo. *Revista Ciencia Agraria, 5*(2), 44–59.

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña). (2023). *Boletines técnicos de mecanización y eficiencia en siembra*. https://www.cenicana.org

CEPEA. (2021). *Costos de mecanización agrícola en cultivos industriales*. Centro de Estudios Avanzados en Economía Aplicada. https://cepea.esalq.usp.br

Cultivar. (2022). *Tecnología y productividad en cultivos industriales*. Revista Cultivar. https://www.revistacultivar.com

Devkota, K. P., & Martius, C. (2018). Mechanized agriculture: A foundation for sustainable intensification. En *Sustainable Intensification in Agriculture* (pp. 195–215). Springer.

Díaz, L., & Villacrés, J. (2022). Impacto de la automatización en cultivos extensivos: evidencias en el contexto ecuatoriano. *Revista Agroproductiva, 9*(1), 50–63.

Enciso, J. (2022). Perspectivas de modernización agrícola en el trópico húmedo. *Revista de Tecnología Agrícola, 10*(1), 33–47.

FAO. (2020). *The State of Food and Agriculture 2020: Overcoming water challenges in agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org

FAO. (2021). *Mecanización agrícola sostenible: Una estrategia para el desarrollo agrícola inclusivo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FAO. (2017). *Tendencias demográficas y su impacto en la agricultura y el desarrollo rural en América Latina y el Caribe*. FAO. https://www.fao.org/publications

IICA. (2019). *Desafíos del desarrollo rural frente al descenso de la población campesina*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

INTA. (2022). *Manual de buenas prácticas para la siembra mecanizada de caña de azúcar*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2024). *Proyecciones demográficas nacionales 1982–2025*. INEC Ecuador.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2023). *Principales resultados de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*. INEC Ecuador.

Jara, A., & González, M. (2021). Evaluación técnica y económica de la mecanización en cultivos industriales. *Revista Ciencia y Agroindustria, 7*(2), 98–112.

John Deere. (2024). *Catálogo técnico de sembradoras y equipos de precisión agrícola*. https://www.deere.com

Kienzle, J., Ashburner, J. E., & Sims, B. G. (2013). *Mecanización sostenible: Un enfoque global*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). https://www.fao.org/publications

Mendoza, L., & García, R. (2019). Modernización y competitividad en la agroindustria latinoamericana. *Revista de Desarrollo Agroindustrial, 11*(1), 22–38.

Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. (2022). *Boletín Estadístico Agrícola: Caña de Azúcar 2022*. https://www.agricultura.gob.ec

Ortiz, L., & Cedeño, S. (2020). Planeación estratégica y establecimiento de objetivos en sistemas agrícolas tecnificados. *Ciencia y Producción Rural, 17*(3), 101–112.

Reinoso, V., & Herrera, G. (2021). Diseño de estrategias de modernización para cultivos industriales: estudio de caso en el Litoral ecuatoriano. *Revista Agricultura y Futuro, 9*(2), 43–58.

Restrepo, J., & Gómez, S. (2020). Escalabilidad de tecnologías agrícolas en ingenios cañeros: un enfoque técnico-financiero. *Revista Agroindustria y Desarrollo, 14*(3), 72–89.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (México). (2022). *Panorama agroalimentario: caña de azúcar*. https://www.gob.mx/agricultura