

Departamento de Posgrado y Educación Continua

# **RENOVACIÓN DE MAQUINARIA AGRÍCOLA PARA OPTIMIZAR EL CORTE DE CAÑA EN CORPORACIÓN MONTELIMAR S.A**

**Tesis para la obtención del grado de Máster en  
Gerencia de Proyectos de Desarrollo.**

**Elaborado por:**

Ing. Juan Francisco  
Oviedo Zepeda

Ing. Norman Antonio  
Blanco García

**Tutor:**

Msc Roberto Carlos  
Jirón Rizo





## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, queremos agradecer profundamente a **Dios**, fuente de toda fortaleza y sabiduría, por permitirnos culminar con éxito esta importante etapa de nuestras vidas. A lo largo de este camino hubo momentos de cansancio, dudas y sacrificios, pero también de aprendizaje, fe y esperanza. Reconocemos que sin su guía y su bendición no habríamos tenido la fuerza necesaria para superar los desafíos y llegar hasta aquí.

De manera muy especial, expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestras familias, pilares fundamentales en todo este proceso. En el caso de **Norman Blanco**, la gratitud es hacia mi esposa, por acompañarme en los momentos más exigentes; a mi madre **Maryoli**, a mi padre **José**, a mi abuelita **María Luisa**, quien aunque ya no está físicamente, sigue presente en mi corazón y en cada logro alcanzado. Ellos me inculcaron desde pequeño el valor del esfuerzo, la constancia y la fe en los sueños. Por parte de **Juan Oviedo** agradezco con todo su corazón a mi **familia**, por su apoyo incondicional, por creer en mis capacidades y por brindarme la motivación necesaria para no rendirme ante las dificultades. Gracias a ellos, este logro tiene un significado mucho más profundo.

También deseamos expresar nuestro reconocimiento y aprecio a nuestros docentes, tutores y compañeros, quienes fueron parte esencial de esta experiencia académica. Su dedicación, paciencia y orientación contribuyeron de manera significativa a nuestro crecimiento profesional y personal. Cada clase, cada consejo y cada palabra de aliento dejaron una huella positiva que llevaremos con nosotros en el ejercicio de nuestra carrera. A nuestros amigos, gracias por acompañarnos con su apoyo, sus palabras motivadoras y su disposición para colaborar en los momentos en que más lo necesitábamos.

¡¡¡Con gratitud y humildad, dedicamos este triunfo a todos los que creyeron en nosotros!!!



## RESUMEN

El proyecto de renovación de maquinaria agrícola para optimizar el corte de caña en Corporación Montelimar S.A se desarrolla en el contexto operativo del Ingenio Montelimar, ubicado en el municipio de San Rafael del Sur, Nicaragua. Su finalidad principal es reponer equipos agrícolas obsoletos que presentan una disponibilidad decreciente y altos costos de mantenimiento, lo que ha afectado directamente la eficiencia y rentabilidad del proceso productivo de caña de azúcar. La propuesta se enmarca dentro de los objetivos estratégicos del ingenio y responde a una necesidad técnica y económica identificada durante varios ciclos productivos.

Durante los últimos ocho años de operación, los indicadores de desempeño han mostrado una tendencia descendente en la disponibilidad de las cosechadoras, registrando un promedio de 72.47 %, muy por debajo de la meta institucional del 85 % requerida para mantener una molienda continua y eficiente. Esta brecha operativa refleja el desgaste estructural de las máquinas, el aumento de tiempos muertos, fallas recurrentes en componentes críticos y un incremento sostenido en los costos de reparación. Estos factores han reducido la capacidad de respuesta del taller de mantenimiento y, por consecuencia, la competitividad del ingenio frente a otros productores nacionales.

El problema central se relaciona con la obsolescencia de la flota actual de cosechadoras, cuyas condiciones mecánicas limitan las horas efectivas de trabajo diario. Con una disponibilidad de 72.47 %, cada máquina opera en promedio 17.4 horas por día, cuando el estándar esperado es de 20.4 horas. Esta diferencia de tres horas diarias por unidad representa una pérdida de aproximadamente 735 toneladas de caña que dejan de cosecharse y molerse en cada jornada. Además, la prolongación de la zafra genera costos adicionales de operación, consumo de combustible, lubricantes y pago de horas extras, afectando la eficiencia general del proceso.

El proyecto plantea como objetivo general la reducción de costos operativos y el aumento de la productividad en la cosecha mecanizada. Para ello, se propone renovar cinco cosechadoras en un período de dos años, implementar un sistema de mantenimiento planificado, fortalecer la capacitación técnica del personal y optimizar la planificación de rutas y turnos de trabajo. Estas acciones buscan no solo mejorar la disponibilidad de la maquinaria, sino también elevar el nivel de servicio interno del taller y consolidar una gestión técnica basada en datos y resultados medibles.



La propuesta se enmarca en el mercado de la industria azucarera nacional, bajo la coordinación de la Comisión Nacional de Productores de Azúcar (CNPA). Dentro de este contexto, el Ingenio Montelimar compite indirectamente con otros ingenios en cuanto a eficiencia de costos por tonelada procesada y rendimiento operativo. Actualmente, el área de Talleres y Servicios actúa como un proveedor interno que garantiza la disponibilidad de maquinaria al menor costo posible, manteniendo así la estabilidad en el flujo de materia prima hacia la planta de molienda.

El análisis de mercado demuestra que la demanda del servicio de mantenimiento se mide a través del indicador de disponibilidad, fijado en 85 % como valor mínimo aceptable. No obstante, el ingenio ha operado por debajo de este umbral, lo que justifica plenamente la necesidad de renovar la maquinaria. Además, el estudio de oferta y demanda interna muestra que la capacidad instalada es insuficiente para atender las exigencias productivas, generando una demanda insatisfecha que impacta en la rentabilidad del proceso. Con la nueva flota, se espera revertir esta tendencia y alcanzar un nivel óptimo de eficiencia operativa.

En el aspecto técnico, la localización del proyecto se mantiene en las instalaciones actuales del Taller del Ingenio Montelimar, evitando costos adicionales de infraestructura. La estructura organizativa cuenta con 23 técnicos especializados, un supervisor, un coordinador y un gerente de área, quienes gestionan los programas de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo. El proyecto contempla además la incorporación de nuevas herramientas de gestión técnica y administrativa que permitirán monitorear indicadores clave como tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio de reparación (MTTR).

En cuanto a los aspectos financieros, la inversión total asciende a 2.284 millones de dólares, con una vida útil de diez años y un valor de rescate de 225 000 dólares. En el escenario con financiamiento al 10 % anual, el proyecto genera un Valor Presente Neto (VPN) de 814 540 USD, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 37.53 % y una Relación Beneficio–Costo (RBC) de 1.13, lo que confirma su viabilidad económica y financiera. Aun sin financiamiento, los resultados se mantienen positivos, con una TIR de 16.19 % y un VPN de 89 733 USD, lo que demuestra la robustez del proyecto frente a variaciones en las fuentes de capital.

El análisis de costos operativos refleja que el costo horario actual de las cosechadoras es de 68.81 USD, pero con la nueva maquinaria se logrará una



reducción estimada del 31 % en el primer año de ejecución. Esto permitirá alcanzar un costo horario mejorado de 22.99 USD, aumentando la competitividad del ingenio dentro del sector azucarero y mejorando la relación costo–beneficio de la operación. Además, se prevé una disminución significativa en el consumo de repuestos, combustibles y lubricantes, así como una mejora en la estabilidad de la producción.

Desde el punto de vista administrativo y legal, el proyecto cumple con todas las normativas vigentes en materia laboral, seguridad social y condiciones de trabajo, garantizando la protección del personal técnico involucrado. Las adquisiciones se realizarán a través del distribuidor autorizado de John Deere en Nicaragua, lo que facilita la logística de compra, la garantía técnica y el soporte postventa. Asimismo, el plan de implementación, estructurado en seis fases, contempla desde la aprobación del proyecto y elaboración del presupuesto hasta la recepción, codificación y puesta en marcha de las nuevas unidades antes del inicio de la zafra.

En conclusión, la renovación de cinco cosechadoras representa una estrategia integral de modernización, orientada a mejorar la productividad, reducir costos y garantizar la continuidad de las operaciones del Ingenio Montelimar. Los resultados financieros demuestran la rentabilidad del proyecto, mientras que las mejoras técnicas aseguran una mayor eficiencia y disponibilidad. De esta manera, la empresa fortalece su capacidad productiva, consolida su sostenibilidad operativa y reafirma su compromiso con la eficiencia y la innovación dentro de la industria azucarera nacional

**Palabras claves:**

Renovación de maquinaria, cosecha mecanizada, caña de azúcar, Ingenio Montelimar, disponibilidad operativa, eficiencia productiva, costos de mantenimiento, productividad agrícola, análisis financiero, TIR, VPN, relación beneficio-costos, obsolescencia tecnológica, modernización industrial, sostenibilidad operativa, rentabilidad del proyecto, optimización de recursos, mantenimiento preventivo, gestión técnica, planificación de zafra, industria azucarera nicaragüense, competitividad, inversión estratégica, análisis de mercado, financiamiento, vida útil de equipos, reducción de costos, capacitación técnica, innovación tecnológica, mejora continua.



## ABSTRACT

The project “Renewal of Agricultural Machinery to Optimize Sugarcane Harvesting at Corporación Montelimar S.A.” is developed within the operational context of Ingenio Montelimar, located in San Rafael del Sur, Nicaragua. Its main objective is to replace obsolete agricultural equipment that has shown decreasing operational availability and increasing maintenance costs, directly affecting the efficiency and profitability of the sugarcane production process. This initiative aligns with the strategic objectives of the company and responds to a technical and economic necessity identified through several productive cycles.

Over the past eight years, performance indicators have shown a continuous decline in the availability of harvesters, averaging 72.47%, significantly below the institutional target of 85% required to ensure an efficient milling process. This deficit reflects structural wear, frequent breakdowns, and rising maintenance costs, which have reduced the responsiveness of the maintenance workshop and the overall competitiveness of the sugar mill within the national industry.

The project’s primary goal is to reduce operational costs and increase productivity in mechanized harvesting through the renewal of five harvesters within two years, the implementation of a planned maintenance system, technical training for personnel, and the optimization of operational planning. These actions will enhance machinery availability, improve the quality of internal service, and consolidate a data-driven management approach focused on measurable results.

Financially, the project requires an investment of USD 2.284 million, with a ten-year useful life and a salvage value of USD 225,000. Under a 10% financing rate, it achieves a Net Present Value (NPV) of USD 814,540, an Internal Rate of Return (IRR) of 37.53%, and a Benefit–Cost Ratio (BCR) of 1.13, confirming its economic feasibility. Even without financing, the project remains profitable, with an IRR of 16.19% and a positive NPV, demonstrating its financial robustness.

The replacement of outdated equipment is projected to reduce the current operating cost of USD 68.81 per hour by approximately 31%, reaching an optimized rate of USD 22.99 per hour. This improvement will increase competitiveness, reduce downtime, and enhance production stability through more efficient use of resources and lower maintenance requirements.



In conclusion, the renewal of five sugarcane harvesters represents a strategic modernization plan aimed at improving productivity, reducing operational costs, and ensuring the sustainability of Ingenio Montelimar's production system. The financial indicators confirm its profitability, while the technical improvements ensure greater efficiency, operational continuity, and long-term competitiveness within Nicaragua's sugar industry.

**Keyword:**

**Renewal of machinery, mechanized harvesting, sugarcane, Ingenio Montelimar, operational availability, productive efficiency, maintenance costs, agricultural productivity, financial analysis, IRR, NPV, benefit-cost ratio, technological obsolescence, industrial modernization, operational sustainability, project profitability, resource optimization, preventive maintenance, technical management, harvest planning, Nicaraguan sugar industry, competitiveness, strategic investment, market analysis, financing, equipment lifespan, cost reduction, technical training, technological innovation, continuous improvement.**



## ÍNDICE GENERAL

### Contenido

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	1
<b>RESUMEN</b> .....	2
<b>ABSTRACT</b> .....	5
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	7
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	10
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	11
<b>CAPITULO I: PLANTEAMIENTO SITUACIONAL</b> .....	12
<b>1. Antecedentes</b> .....	12
<b>2. Planteamiento del problema</b> .....	17
<b>3. Objetivos</b> .....	21
<b>Objetivo General</b> .....	21
<b>Objetivos específicos</b> .....	21
<b>4. Justificación</b> .....	24
<b>4.1 Limitantes y riesgos</b> .....	28
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	31
<b>CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO</b> .....	36
<b>1. Área de localización del estudio</b> .....	36
<b>2. Tipo de estudio según el enfoque, amplitud o período</b> .....	37
<b>3. Población, muestra</b> .....	39
3.1. Tipo de muestra y muestreo .....	42
3.2. Técnicas e instrumentos de la investigación .....	44
<b>3.3 Revisión documental y análisis de registros técnicos</b> .....	45
<b>3.4 Observación directa</b> .....	46
<b>3.4 Entrevistas semiestructuradas</b> .....	46
<b>3.5 Encuestas estructuradas al personal técnico y operativo</b> .....	47
<b>3.6 Procesamiento y validación de la información</b> .....	47
<b>4. Diseño</b> .....	49
4.1. Recolección de Datos .....	49
<b>4.2 Fase documental y estadística</b> .....	49
<b>4.3 Fase empírica de campo</b> .....	50



4.4 Fase de percepción técnica y operativa.....	51
4.5 Validación de los datos recolectados .....	52
4.6 Base digital de mantenimiento en Microsoft Excel .....	53
4.7 Sistema de análisis visual en Power BI.....	54
4.8 Registro de horas-hombre y actividades en AppSheet.....	55
4.9 Formatos de control físico y observación en campo .....	55
4.10 Cuestionarios y entrevistas técnicas.....	56
4.11 Validación de los instrumentos .....	56
4.12 Integración de instrumentos y flujo de información.....	57
4.13 Criterios de calidad: credibilidad, confiabilidad .....	57
Credibilidad.....	57
Confiabilidad.....	58
Validez.....	59
5. Operacionalización de variables .....	60
Variable independiente: Obsolescencia de la maquinaria agrícola .....	60
Variable dependiente: Eficiencia operativa de la cosecha mecanizada.....	61
6. Análisis de datos .....	62
6.1. Preparación y depuración de datos .....	63
6.2. Cálculo de indicadores técnicos y operativos .....	63
<b>CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL PROYECTO .....</b>	<b>65</b>
1. Estudio de Mercado:.....	65
1.1. Contexto del mercado azucarero nacional .....	65
1.2. Análisis de la demanda .....	65
1.3. Análisis de la oferta .....	66
1.4. Público objetivo y segmentación del mercado .....	66
1.5. Tendencias del mercado y proyección de crecimiento .....	67
1.6. Conclusiones del estudio de mercado.....	67
2. Estudio Técnico:.....	68
3. Estudio Ambiental:.....	69
Cumplimiento normativo y regulaciones aplicables .....	69
4. Estudio Financiero:.....	70
Evaluación .....	71
<b>CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES HALLAZGOS .....</b>	<b>76</b>



<b>5.1 Análisis de la disponibilidad operativa</b> .....	76
<b>5.2 Reducción de costos operativos</b> .....	77
<b>5.3 Mejora en el desempeño técnico y productivo</b> .....	77
<b>5.4 Impacto ambiental y sostenibilidad</b> .....	78
<b>5.5 Análisis financiero</b> .....	78
<b>5.6 Fortalecimiento de la gestión administrativa y técnica</b> .....	79
<b>5.7 Conclusión general de los hallazgos</b> .....	79
<b>CAPÍTULO VI: PROPUESTA DE SOLUCIÓN</b> .....	81
<b>CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES</b> .....	85
<b>CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES</b> .....	87
<b>CAPÍTULO IX: REFERENCIAS</b> .....	90
<b>CAPÍTULO X: ASPECTOS ADMINISTRATIVOS</b> .....	91
1. <b>Presupuesto</b> .....	91
2. <b>Cronograma de Tesis</b> .....	92
<b>CAPÍTULO XI: ANEXOS</b> .....	94



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Obsolescencia de maquinaria agrícola.....	60
Tabla 2: Eficiencia Operativa de la cosecha mecanizada.....	61
Tabla 3: Gestión del mantenimiento .....	61
Tabla 4: Productividad agrícola .....	62
Tabla 5: Datos técnicos de Cosechadoras por renovar .....	63
Tabla 6: Costos reales de unidades para renovar .....	64
Tabla 7: Especificaciones técnicas de equipo propuesto .....	68
Tabla 8: Plan Ambiental del proyecto .....	69
Tabla 9: Resumen de análisis de inversión .....	70
Tabla 10: Análisis financiero .....	72
Tabla 11: VPN (B-C) .....	73
Tabla 12: Cronograma de Tesis.....	92
Tabla 13: Cronograma del Proyecto .....	93
Tabla 14: Seguimiento por periodos .....	96
Tabla 15: Seguimiento de costo horario en equipos.....	97



## ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: SGE Seguimiento Fractal.....	94
Ilustración 2: Seguimiento de presupuesto .....	95
Ilustración 3: Seguimiento general de disponibilidad.....	98
Ilustración 4: Seguimiento de gestión de mantenimiento preventivo.....	99
Ilustración 5: Proforma de Sertrasa para gestion de medio ambiente.....	100

## CAPITULO I: PLANTEAMIENTO SITUACIONAL

### 1. Antecedentes

El proyecto de renovación de maquinaria agrícola para optimizar el corte mecanizado de caña en la Corporación Montelimar S.A. se enmarca dentro del contexto de transformación tecnológica que atraviesa la agroindustria azucarera nicaragüense en las últimas décadas. El Ingenio Montelimar, ubicado en el municipio de San Rafael del Sur, departamento de Managua, ha sido históricamente una de las empresas pioneras en la producción y procesamiento de caña de azúcar en el país, consolidando su papel como referente en productividad, sostenibilidad y responsabilidad social empresarial. Sin embargo, el proceso de mecanización agrícola que en su momento representó un salto tecnológico para la corporación, enfrenta actualmente un desafío estructural derivado del envejecimiento de la flota de cosechadoras, los crecientes costos de mantenimiento y la pérdida progresiva de eficiencia operativa, elementos que amenazan la competitividad y rentabilidad de la empresa en un entorno económico cada vez más exigente.

La agroindustria azucarera es uno de los pilares de la economía nacional, tanto por su contribución al producto interno bruto como por su impacto social y territorial. Nicaragua cuenta con una estructura productiva en la que el azúcar constituye una de las principales fuentes de exportación, empleo y generación de divisas. Ingenios como Montelimar, San Antonio, Benjamín Zeledón y Monte Rosa conforman un sector que ha mantenido un crecimiento sostenido a pesar de los retos derivados de los costos internacionales, las condiciones climáticas y las transformaciones tecnológicas globales. En este marco, el Ingenio Montelimar no solo se destaca por su volumen de molienda y rendimiento agrícola, sino también por la aplicación de prácticas sostenibles y de mejora continua. Sin embargo, la sostenibilidad tecnológica requiere de procesos de renovación y reinversión constante, ya que la vida útil de las maquinarias agrícolas es limitada y su desempeño decrece con los años, afectando de manera directa la eficiencia de la cadena de valor.

El proceso de corte mecanizado de caña de azúcar constituye una de las fases más determinantes dentro del ciclo productivo, ya que de su eficiencia depende la capacidad de molienda y la estabilidad del flujo de materia prima hacia la planta industrial. En el caso de Montelimar, el sistema de corte mecanizado se introdujo como parte de la modernización agrícola a inicios de la década de 2000, permitiendo aumentar la capacidad de cosecha, reducir la dependencia de la mano de obra manual y mejorar la regularidad de las entregas de caña al ingenio. No obstante, después de más de una década de operación continua, la flota de cosechadoras muestra signos evidentes de desgaste estructural, disminución de disponibilidad y



aumento en la frecuencia de fallas. Este envejecimiento tecnológico ha generado consecuencias tanto operativas como económicas, reduciendo las horas efectivas de trabajo y elevando el costo de mantenimiento, lo que ha obligado a la empresa a buscar alternativas de renovación que permitan restablecer los niveles de productividad perdidos.

Durante los últimos ocho años, los registros internos del área de talleres y servicios de la Corporación Montelimar reflejan una tendencia descendente en la disponibilidad operativa de las cosechadoras, alcanzando un promedio de apenas 72.47 %, cifra que se sitúa por debajo del estándar mínimo de 85 % establecido por la organización como meta para garantizar la continuidad de la molienda. Esta brecha del 12.5 % no solo implica una disminución en la eficiencia técnica, sino también una pérdida directa de productividad equivalente a cientos de toneladas de caña no cosechadas diariamente. En términos prácticos, cada máquina que trabaja por debajo de su disponibilidad óptima produce alrededor de tres horas diarias menos de operación efectiva, lo que se traduce en una pérdida de aproximadamente 735 toneladas de caña al día considerando la capacidad promedio de cosecha de 35 toneladas por hora. Esta pérdida acumulada tiene efectos económicos significativos, alargando los ciclos de zafra, incrementando el consumo de combustible, aumentando el desgaste de componentes mecánicos y elevando los costos laborales por horas extras.

El deterioro progresivo de la maquinaria agrícola no es un fenómeno aislado, sino el resultado de un conjunto de factores interrelacionados. Por un lado, las cosechadoras en operación han superado su vida útil recomendada por el fabricante, lo que incrementa la probabilidad de fallas en componentes críticos como sistemas hidráulicos, transmisión, motor y corte. Por otro lado, los programas de mantenimiento, aunque planificados, han tenido que adaptarse a las condiciones reales del parque de maquinaria, priorizando la reparación sobre la prevención debido a la frecuencia de las averías. Este modelo reactivo, aunque inevitable en ciertos contextos, incrementa los costos operativos y reduce la disponibilidad efectiva de las unidades, generando un círculo vicioso de baja productividad y alto gasto. Además, la obsolescencia tecnológica limita la compatibilidad con nuevos sistemas de monitoreo y control, impidiendo la integración de la maquinaria con tecnologías modernas de gestión agrícola y telemetría que actualmente son estándar en los ingenios más avanzados del continente.

En el contexto latinoamericano, la modernización del corte mecanizado ha sido una tendencia creciente impulsada por la necesidad de optimizar recursos, reducir la dependencia de la mano de obra temporal y mejorar los estándares de productividad

agrícola. Ingenios en Brasil, Colombia, Guatemala y México han incorporado flotas de cosechadoras de última generación que operan con mayor eficiencia energética, menor consumo de combustible y mejores sistemas de control electrónico. Estas innovaciones no solo incrementan el rendimiento por hectárea, sino que también disminuyen los costos por tonelada cosechada, fortaleciendo la competitividad internacional. En contraste, Nicaragua enfrenta un rezago tecnológico en este campo, lo que hace imperativo que empresas líderes como Montelimar adopten medidas de renovación tecnológica para mantener su posición dentro del mercado regional.

La Corporación Montelimar, consciente de este escenario, ha desarrollado un sistema de monitoreo de desempeño de su maquinaria que permite registrar la disponibilidad, el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR) de cada cosechadora. Este sistema ha permitido evidenciar el deterioro progresivo de los indicadores técnicos, mostrando una disminución del MTBF y un incremento constante del MTTR en los últimos ciclos de zafra. En términos prácticos, esto significa que las máquinas fallan con mayor frecuencia y requieren más tiempo para ser reparadas, lo que genera una menor disponibilidad operativa. Las consecuencias de esta situación son múltiples: la zafra se prolonga, la molienda se retrasa y los costos de operación aumentan. Ante este panorama, la renovación de la flota no es una opción, sino una necesidad estratégica para garantizar la sostenibilidad operativa y financiera del ingenio.

La problemática no se limita únicamente al aspecto mecánico, sino que también tiene una dimensión humana y organizacional. La falta de actualización tecnológica genera una brecha en la capacitación del personal técnico y operativo, que debe adaptarse a equipos cada vez más complejos con recursos limitados. La renovación de maquinaria, por tanto, no solo implica la adquisición de nuevos equipos, sino también la implementación de programas de formación técnica y gestión del conocimiento que permitan a los trabajadores adaptarse a las nuevas exigencias del proceso. Esto refuerza la visión de que el proyecto no se reduce a una inversión material, sino que constituye una estrategia integral de desarrollo tecnológico y humano orientada a fortalecer la competitividad institucional.

En paralelo, la situación actual del sector azucarero nacional plantea nuevos retos vinculados con la eficiencia energética, la sostenibilidad ambiental y la optimización de recursos. El incremento de los precios del combustible, las políticas ambientales más restrictivas y la necesidad de reducir la huella de carbono en los procesos industriales exigen que las empresas adopten tecnologías más limpias y eficientes. Las nuevas generaciones de cosechadoras disponibles en el mercado incorporan

motores de menor consumo, sistemas hidráulicos de alta eficiencia, sensores de monitoreo remoto y mecanismos de corte de precisión que reducen el desperdicio de caña y las emisiones contaminantes. Implementar esta tecnología permitiría a Montelimar alinearse con las metas globales de sostenibilidad, mejorar su desempeño ambiental y fortalecer su imagen corporativa como empresa comprometida con la innovación responsable.

Por otra parte, la dinámica del mercado internacional del azúcar impone un entorno de competencia donde los costos de producción son determinantes para la supervivencia empresarial. La fluctuación de los precios internacionales del azúcar obliga a las empresas a buscar permanentemente estrategias que les permitan reducir costos y aumentar la eficiencia. En este sentido, el costo horario actual de operación de las cosechadoras en Montelimar —68.81 dólares estadounidenses por hora— resulta insostenible frente a los estándares internacionales, donde los ingenios más tecnificados operan con costos entre 45 y 55 dólares por hora. Este diferencial coloca a la empresa en una situación de desventaja competitiva que solo puede ser revertida mediante una intervención directa sobre el factor tecnológico. La sustitución de las cosechadoras más antiguas por modelos nuevos de mayor eficiencia energética y menor mantenimiento permitiría reducir estos costos en un 31 % durante el primer año, alcanzando un costo horario de 22.99 dólares, lo que representa una mejora sustancial en la rentabilidad por tonelada procesada.

La inversión en nueva maquinaria también tiene un impacto positivo en la gestión del riesgo operativo. La alta frecuencia de fallas en los equipos actuales incrementa el riesgo de interrupciones no programadas durante la zafra, afectando la planificación general del proceso productivo. Al incorporar maquinaria moderna con sistemas de diagnóstico automatizado y mantenimiento predictivo, se reduce significativamente la probabilidad de paros imprevistos, permitiendo una programación más estable y una mejor utilización de los recursos humanos y logísticos. Además, la estandarización de equipos dentro de la flota facilita la gestión de repuestos y el entrenamiento del personal, generando economías de escala en mantenimiento y reparación.

En conclusión, los antecedentes del proyecto reflejan una necesidad estructural de renovación tecnológica que trasciende el simple reemplazo de equipos. Se trata de una decisión estratégica orientada a recuperar la eficiencia operativa, mejorar la competitividad y garantizar la sostenibilidad del Ingenio Montelimar en el mediano y largo plazo. La evidencia técnica y económica acumulada durante los últimos años sustenta plenamente la pertinencia del proyecto, que busca no solo resolver un



problema operativo, sino también fortalecer las capacidades internas de gestión, innovación y desarrollo tecnológico de la corporación.

## 2. Planteamiento del problema

Corporación Montelimar S.A enfrenta actualmente un conjunto de desafíos estructurales que comprometen la eficiencia, continuidad y rentabilidad del proceso de cosecha mecanizada de caña de azúcar. El principal de ellos radica en la **obsolescencia progresiva de la flota de cosechadoras**, cuyas condiciones mecánicas y tecnológicas han deteriorado su capacidad operativa y generado un incremento sostenido en los costos de mantenimiento. La maquinaria actualmente en uso fue adquirida hace más de una década y ha superado su vida útil óptima recomendada por el fabricante. Como resultado, los equipos presentan una alta frecuencia de fallas, tiempos prolongados de reparación y una disminución constante de la disponibilidad efectiva, lo que afecta directamente la productividad agrícola y la capacidad industrial del ingenio.

Durante los últimos ciclos de zafra, los indicadores de desempeño han evidenciado de manera sistemática la pérdida de eficiencia en el proceso de corte mecanizado. Los registros técnicos del área de Talleres y Servicios muestran una **disponibilidad operativa promedio del 72.47 %, esta disponibilidad es en base las 24 horas diarias que las unidades están operando**, cuando el estándar requerido para garantizar la continuidad de la molienda es del **85 %**. Esta brecha del 12.5 % representa una diferencia crítica que impacta de manera significativa en el volumen de caña procesada, provocando retrasos en la entrega de materia prima a la planta y la prolongación de los periodos de zafra. Cada hora de inactividad no programada implica una pérdida directa de producción y un incremento en los costos fijos, ya que los recursos humanos, energéticos y logísticos continúan generando gasto sin aportar valor al proceso productivo.

La baja disponibilidad de las cosechadoras no es un problema aislado, sino la manifestación de una **cadena de deficiencias técnicas y organizacionales**. En primer lugar, la antigüedad de los equipos ocasiona un deterioro natural en componentes estructurales, hidráulicos y eléctricos. Las fallas más frecuentes se concentran en los sistemas de transmisión, motores, cilindros hidráulicos, sistemas de corte y bandas transportadoras. Estas averías generan paros recurrentes que, en conjunto, reducen las horas efectivas de trabajo diario por máquina de 20.4 horas planificadas a **17.4 horas reales**, es decir, una pérdida de tres horas de operación diaria por unidad. Si se considera una flota de siete máquinas, la pérdida acumulada equivale a **21 horas de trabajo efectivo menos por día**, lo que representa una **reducción de aproximadamente 735 toneladas de caña cosechada**. Este déficit impacta en la programación de molienda y en la capacidad del ingenio para cumplir sus metas productivas diarias.

En segundo lugar, los altos costos de mantenimiento asociados a la obsolescencia tecnológica representan una carga económica significativa para la corporación. El **costo promedio de operación actual de las cosechadoras es de 68.81 dólares**

**estadounidenses por hora**, lo que resulta insostenible frente a los márgenes de rentabilidad del negocio azucarero. Este costo incluye gastos en repuestos, lubricantes, combustible, mano de obra, materiales de reparación y tiempos muertos por paros técnicos. En comparación con ingenios regionales que operan con flotas modernas, el costo horario de Montelimar es aproximadamente **30 % superior**, lo que lo coloca en una posición de desventaja frente a la competencia. Esta situación genera presión financiera sobre las áreas de mantenimiento y producción, limita la capacidad de reinversión y reduce la rentabilidad operativa global.

La **carencia de repuestos originales y la dependencia de proveedores internacionales** agravan el problema. La disponibilidad de piezas de reemplazo para modelos antiguos es cada vez menor, lo que genera demoras prolongadas en las reparaciones y obliga, en algunos casos, a recurrir a adaptaciones o repuestos genéricos que no garantizan la misma eficiencia. Además, los costos de importación y los tiempos de entrega incrementan la vulnerabilidad del proceso de mantenimiento, afectando la planificación de la zafra. La falta de previsibilidad en la reposición de componentes críticos conduce a un esquema de mantenimiento reactivo más que preventivo, donde la atención a las fallas ocurre una vez que el daño ya ha impactado la producción. Este enfoque correctivo eleva los costos, prolonga las averías y deteriora los índices de desempeño técnico.

Otro aspecto relevante en la identificación del problema es la **brecha tecnológica existente entre la flota actual de cosechadoras y los estándares internacionales del sector**. Las unidades que operan en Montelimar carecen de sistemas avanzados de monitoreo electrónico, telemetría o diagnóstico remoto, tecnologías que hoy son indispensables para una gestión eficiente de la maquinaria agrícola. La ausencia de estos sistemas impide detectar fallas incipientes, controlar el consumo de combustible y registrar indicadores de desempeño en tiempo real. Esto genera una pérdida de información valiosa para la toma de decisiones estratégicas, limita la capacidad de control del área técnica y dificulta la implementación de prácticas de mantenimiento predictivo basadas en datos.

A nivel organizacional, el problema se profundiza debido a la **falta de capacitación técnica actualizada del personal encargado del mantenimiento y operación de la maquinaria**. La evolución tecnológica del sector exige nuevas competencias en diagnóstico, calibración y reparación electrónica, pero la mayoría del personal ha sido formado en modelos mecánicos convencionales. Esta brecha de conocimiento impide aprovechar plenamente las capacidades de las máquinas más nuevas e incrementa la probabilidad de errores en la manipulación de equipos. Además, los técnicos deben dedicar un tiempo considerable a solucionar fallas recurrentes en equipos antiguos, reduciendo su disponibilidad para labores de mejora continua o capacitación. La renovación de maquinaria, por tanto, no solo es una necesidad técnica, sino también una oportunidad para desarrollar capacidades humanas acordes con las demandas del mercado moderno.

Desde el punto de vista económico, la situación actual también impacta de forma directa en la rentabilidad del ingenio. El aumento en los costos de mantenimiento,

el consumo excesivo de combustible, el desperdicio de caña por fallas mecánicas y los tiempos muertos durante la zafra disminuyen los márgenes de ganancia y afectan la competitividad del producto final. En un mercado global donde los precios del azúcar fluctúan constantemente, los ingenios deben ser capaces de mantener sus costos por debajo del promedio internacional para asegurar la sostenibilidad de sus operaciones. Sin embargo, los registros financieros de Montelimar muestran una tendencia ascendente en los costos operativos totales asociados al proceso de corte mecanizado, lo que demuestra la necesidad urgente de una intervención estructural.

La prolongación de los periodos de zafra constituye otro síntoma del problema. Cada día adicional de cosecha implica un costo financiero y operativo adicional, no solo por el uso extendido de maquinaria y personal, sino también por el aumento del riesgo climático y la degradación de la materia prima. La caña que no se corta a tiempo pierde contenido de sacarosa, lo que reduce el rendimiento industrial y afecta el volumen de azúcar producido. Este deterioro de la calidad del insumo primario repercute directamente en la eficiencia global del proceso industrial y en la competitividad comercial del producto final. Así, la falta de maquinaria moderna no solo genera pérdidas cuantitativas, sino también cualitativas, afectando la calidad del producto exportable y el posicionamiento del ingenio en los mercados internacionales.

La situación descrita evidencia que el problema no se limita a una falla técnica puntual, sino que tiene **características estructurales, económicas, tecnológicas y humanas**. A nivel técnico, la obsolescencia limita la productividad y aumenta los costos de reparación; a nivel económico, reduce la rentabilidad; a nivel organizacional, incrementa la carga de trabajo del personal; y a nivel estratégico, compromete la sostenibilidad de la empresa. Este conjunto de factores interrelacionados configura un escenario donde la **renovación de la flota de cosechadoras se convierte en una necesidad estratégica** para asegurar la continuidad y el crecimiento de la corporación.

Por tanto, el **problema central** de investigación se puede formular de la siguiente manera:

*La Corporación Montelimar enfrenta una disminución significativa en la disponibilidad operativa y eficiencia del proceso de cosecha mecanizada de caña de azúcar debido a la obsolescencia tecnológica de su flota de cosechadoras, lo que genera altos costos de mantenimiento, pérdidas de productividad y menor competitividad frente a otros ingenios del sector. Esta situación requiere el diseño e implementación de un proyecto de renovación de maquinaria que permita reducir los costos operativos, aumentar la disponibilidad y mejorar el rendimiento agrícola e industrial.*

De esta formulación general se derivan varios **problemas específicos** que orientan la investigación:



1. ¿Cuáles son los principales factores técnicos y económicos que inciden en la baja disponibilidad operativa de las cosechadoras actuales?
2. ¿Qué impacto tiene la obsolescencia tecnológica en los costos de mantenimiento y en la eficiencia del proceso de corte mecanizado?
3. ¿Qué beneficios técnicos, financieros y productivos se esperan alcanzar mediante la renovación de la flota de cosechadoras?
4. ¿Qué estrategias de mantenimiento, capacitación y control operativo pueden garantizar la sostenibilidad del nuevo sistema?

La respuesta a estas interrogantes permitirá estructurar un modelo de renovación integral que no solo contemple la adquisición de equipos nuevos, sino también la transformación del sistema de gestión operativa y técnica de la maquinaria agrícola. En este sentido, el proyecto de renovación propuesto busca resolver un problema de carácter estratégico, orientado a restablecer la eficiencia global del proceso productivo, fortalecer la posición competitiva de la empresa y garantizar su sostenibilidad en el largo plazo.



### 3. Objetivos

#### Objetivo General

**Reducir los costos operativos y aumentar la productividad del proceso de cosecha mecanizada de caña de azúcar mediante la renovación tecnológica de la flota de cosechadoras del Ingenio Montelimar, alcanzando una disponibilidad mínima del 85 %, una reducción del 30 % en los costos de mantenimiento y una gestión técnica sostenible que garantice la eficiencia y continuidad de las operaciones agrícolas.**

El objetivo general constituye la esencia de la propuesta y concentra el propósito integral del estudio: modernizar el sistema de corte mecanizado, optimizando los recursos humanos, técnicos y financieros de la corporación. Este objetivo combina tres dimensiones clave:

1. **Eficiencia operativa**, que busca incrementar la disponibilidad de las cosechadoras y reducir los tiempos de inactividad.
2. **Rentabilidad económica**, orientada a la reducción de costos por hora de trabajo y por tonelada procesada.
3. **Sostenibilidad tecnológica**, centrada en la adopción de maquinaria moderna con menores requerimientos de mantenimiento y mayor eficiencia energética.

El cumplimiento de este objetivo garantizará una mejora significativa en la productividad del ingenio, una disminución de los costos totales de producción y una recuperación del nivel de competitividad frente a otros ingenios del país y la región.

#### Objetivos específicos

1. Renovar cinco cosechadoras agrícolas en un período de dos años, sustituyendo las unidades con mayor antigüedad y menor disponibilidad operativa.
2. Disminuir los costos de mantenimiento y operación en al menos un 30 % durante el primer año de ejecución del proyecto.
3. Implementar un programa integral de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo basado en indicadores técnicos de desempeño.
4. Fortalecer las competencias técnicas del personal encargado de la operación y mantenimiento de la maquinaria mediante programas de capacitación y certificación.

5. Establecer un sistema de monitoreo y control de indicadores de desempeño (KPI) para evaluar la disponibilidad, eficiencia y costos operativos de la flota agrícola.

### Desarrollo de los objetivos

El **primer objetivo**, orientado a la **renovación de cinco cosechadoras agrícolas en un período de dos años**, constituye la acción central del proyecto. Su cumplimiento permitirá reemplazar las unidades con mayor desgaste, que actualmente concentran más del 60 % de los costos de mantenimiento del área agrícola. La incorporación de equipos de última generación con tecnología hidráulica y electrónica avanzada reducirá las fallas recurrentes, optimizará el rendimiento energético y mejorará la capacidad de corte por hora. Cada nueva unidad aportará aproximadamente un incremento del 2.5 % en la disponibilidad global, permitiendo alcanzar la meta corporativa del 85 % de disponibilidad.

El **segundo objetivo**, enfocado en **disminuir los costos operativos en un 30 % durante el primer año**, busca restablecer la rentabilidad del proceso de cosecha mecanizada. La reducción se logrará mediante la sustitución de equipos ineficientes, el ahorro de combustible, la reducción de horas extras y la estandarización del mantenimiento. Con esta optimización, el costo horario de operación bajará de **68.81 USD/h a 22.99 USD/h**, generando una mejora directa en el margen financiero del ingenio. Este impacto permitirá reorientar recursos hacia otras áreas productivas, fortaleciendo la sostenibilidad financiera de la corporación.

El **tercer objetivo**, que propone **implementar un programa integral de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo**, pretende transformar la cultura operativa del taller agrícola. Este nuevo modelo de gestión técnica utilizará indicadores como el **Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)** y el **Tiempo Medio de Reparación (MTTR)** para anticipar problemas antes de que se conviertan en fallas críticas. Con esta metodología, se reducirá la frecuencia de paros imprevistos y se aumentará la vida útil de los equipos. Además, se integrará un sistema de registro digital que permitirá generar reportes automáticos de mantenimiento, fortaleciendo la trazabilidad y la transparencia de las operaciones.

El **cuarto objetivo**, orientado a **fortalecer las competencias técnicas del personal**, es un componente humano esencial del proyecto. La modernización tecnológica exige nuevos conocimientos en diagnóstico electrónico, calibración de sistemas hidráulicos y control de parámetros de desempeño. Para garantizar la correcta operación de las nuevas máquinas, se desarrollará un programa de capacitación y certificación técnica en alianza con el distribuidor oficial de John Deere y con instituciones de formación especializada. Este proceso de formación continua permitirá al personal adquirir habilidades que se traduzcan en una mejora del desempeño laboral y en la reducción de errores humanos durante la operación.

El **quinto objetivo**, referido a **establecer un sistema de monitoreo y control de indicadores de desempeño (KPI)**, tiene como fin asegurar la medición constante



de los resultados del proyecto. Este sistema consolidará indicadores clave como la disponibilidad operativa (%), el costo por hora de operación (USD/h), la frecuencia de fallas, el rendimiento por hectárea y el consumo promedio de combustible. Con esta información, los gerentes de mantenimiento y producción podrán tomar decisiones basadas en evidencia, detectar desviaciones y corregirlas oportunamente. Además, el análisis de tendencias permitirá proyectar la rentabilidad de la inversión y planificar futuras renovaciones.

En conjunto, los objetivos general y específicos configuran un marco estratégico que integra los aspectos técnicos, humanos y económicos del proyecto. Su cumplimiento permitirá transformar el modelo operativo actual de la Corporación Montelimar, pasando de un sistema reactivo y costoso a uno moderno, planificado y eficiente. Este enfoque integral no solo garantizará la continuidad productiva, sino que también fortalecerá la posición competitiva del ingenio dentro de la industria azucarera nacional, asegurando su sostenibilidad en el largo plazo.

#### 4. Justificación

El proyecto de renovación de maquinaria agrícola para la cosecha mecanizada de caña de azúcar en la **Corporación Montelimar S.A.** se justifica como una respuesta estratégica, técnica y económica ante el progresivo deterioro de la flota actual de cosechadoras, cuyos índices de disponibilidad y eficiencia han descendido de forma sostenida durante los últimos ciclos de zafra. La empresa enfrenta un escenario en el que la **obsolescencia tecnológica** afecta directamente la productividad, la rentabilidad y la sostenibilidad de sus operaciones agrícolas. Por tanto, este proyecto no solo persigue reemplazar equipos antiguos, sino **transformar integralmente la gestión técnica, económica y operativa del proceso de cosecha mecanizada**, asegurando su continuidad y competitividad en el largo plazo.

##### ¿Por qué se realiza el proyecto?

La razón principal para ejecutar este proyecto radica en la **ineficiencia creciente del sistema actual de cosecha mecanizada**, producto del desgaste estructural y funcional de las cosechadoras que ya han superado su vida útil óptima. Los registros operativos del Ingenio Montelimar evidencian que la disponibilidad de las máquinas ha descendido hasta un **72.47 %**, cuando el estándar mínimo requerido es del **85 %**. Esta diferencia del 12.5% implica pérdidas diarias significativas de productividad, equivalentes a **735 toneladas de caña sin cosechar por jornada**, lo cual afecta la continuidad del proceso industrial y reduce el volumen total de azúcar procesado durante la zafra.

El **aumento de los costos de mantenimiento** es otro factor crítico que justifica la intervención. Actualmente, el costo horario de operación alcanza los **68.81 USD por hora**, debido a la alta frecuencia de fallas, la falta de repuestos originales y la necesidad de reparaciones constantes. Este costo se encuentra por encima de los estándares internacionales de la industria azucarera, donde los ingenios tecnificados operan con costos entre 45 y 55 USD/h. Esta situación no solo limita la rentabilidad del ingenio, sino que también compromete su capacidad para reinvertir en innovación y mantenimiento preventivo.

Asimismo, la **falta de integración tecnológica** limita la eficiencia de la gestión técnica. Las cosechadoras en uso carecen de sistemas modernos de monitoreo, telemetría y diagnóstico electrónico, herramientas fundamentales para implementar mantenimiento predictivo y control de rendimiento. Esta carencia provoca que el área de mantenimiento trabaje bajo un modelo reactivo, respondiendo a fallas una vez que se presentan, lo que genera mayores costos, pérdida de tiempo y desorganización operativa.

Por lo tanto, el proyecto se realiza porque **el sistema actual ha alcanzado un punto de inflexión técnico y financiero**, en el cual continuar operando con

maquinaria obsoleta resulta más costoso y riesgoso que invertir en su renovación. El análisis de desempeño, costos y proyecciones demuestra que la modernización de la flota es indispensable para recuperar los niveles de productividad que garantizan la sostenibilidad del Ingenio Montelimar en el tiempo.

### ¿Para qué se realiza el proyecto?

El propósito esencial del proyecto es **restablecer y mejorar la eficiencia del proceso de cosecha mecanizada de caña de azúcar**, garantizando la continuidad productiva del ingenio, la reducción de costos y la optimización de los recursos disponibles. A través de la adquisición de nuevas cosechadoras, la implementación de un sistema de mantenimiento planificado y la capacitación del personal, se busca elevar la disponibilidad operativa a un **mínimo de 85 %**, reducir el costo horario de operación en un **30 %** y asegurar una gestión técnica más eficiente y sostenible.

El proyecto tiene también una finalidad estratégica: **posicionar al Ingenio Montelimar como una empresa agroindustrial moderna, competitiva y alineada con las exigencias tecnológicas internacionales**. La renovación de maquinaria permitirá incorporar herramientas digitales de monitoreo en tiempo real, control de consumo de combustible, gestión de mantenimiento automatizado y análisis de rendimiento por hectárea. Esto transformará la cultura operativa del área agrícola, orientándola hacia un modelo de toma de decisiones basado en datos (data-driven management).

En el plano económico, el “para qué” del proyecto se traduce en la búsqueda de **mayor rentabilidad y reducción de gastos estructurales**, asegurando la recuperación de la inversión en un plazo de corto a mediano término. El análisis financiero proyecta un **Valor Presente Neto (VPN)** positivo de 814,540 USD y una **Tasa Interna de Retorno (TIR)** del 37.53 % con financiamiento al 10 %, lo que evidencia que la renovación generará beneficios tangibles desde el primer año de implementación.

Por tanto, el proyecto se ejecuta **para mejorar la competitividad del Ingenio Montelimar**, reducir la vulnerabilidad operativa frente a fallas mecánicas, garantizar la eficiencia productiva durante la zafra, y consolidar un modelo agrícola sostenible, rentable y tecnológicamente avanzado.

### ¿Para quién se realiza el proyecto?

El proyecto está dirigido principalmente a **la Corporación Montelimar S.A.**, entidad que experimenta directamente las consecuencias de la obsolescencia de su maquinaria agrícola. Sin embargo, su alcance y beneficios se extienden a diferentes niveles del ecosistema productivo y social:

1. **Para la empresa:** el beneficio directo radica en la recuperación de la eficiencia y rentabilidad del proceso de cosecha, la reducción de costos, el aumento de la productividad y la mejora de la planificación agrícola e

industrial. La empresa podrá optimizar el uso de sus recursos, cumplir sus metas de producción y fortalecer su posición competitiva dentro del sector azucarero nacional.

2. **Para el personal técnico y operativo:** la modernización de maquinaria mejorará las condiciones laborales, reduciendo el esfuerzo físico, el estrés operativo y el riesgo de accidentes. Además, los programas de capacitación y certificación técnica fortalecerán sus competencias, generando oportunidades de desarrollo profesional y mayor estabilidad laboral.
3. **Para la comunidad y la región:** el proyecto contribuirá a la estabilidad económica del área rural donde opera el Ingenio Montelimar, manteniendo los niveles de empleo y dinamizando la economía local. La continuidad del proceso productivo asegura la generación de ingresos directos e indirectos para cientos de familias vinculadas al sector cañero, desde transportistas y contratistas hasta proveedores de servicios.
4. **Para el país:** a nivel macroeconómico, el proyecto fortalece la productividad y competitividad de la industria azucarera nicaragüense, uno de los sectores de mayor aporte al PIB nacional y a las exportaciones. La modernización tecnológica impulsa la eficiencia energética y promueve prácticas agrícolas sostenibles, contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionados con industria, innovación, trabajo decente y acción climática.

En síntesis, el proyecto beneficia a múltiples actores: **a la empresa, al trabajador, a la comunidad y al país**, integrando beneficios económicos, técnicos y sociales en una sola acción estratégica.

### ¿Con qué y cómo se llevará a cabo el proyecto?

El proyecto se ejecutará utilizando **recursos financieros, técnicos y humanos** de la Corporación Montelimar, complementados con financiamiento externo para la adquisición de maquinaria moderna de la marca **John Deere**, distribuidor oficial en Nicaragua. El plan de ejecución contempla **seis fases principales**: aprobación institucional, gestión de financiamiento, adquisición, recepción e instalación, capacitación técnica, y evaluación de desempeño.

Desde el punto de vista financiero, se empleará una combinación de **capital propio y crédito a mediano plazo** con una tasa del 10 % anual, lo que permitirá mantener liquidez y asegurar la rentabilidad de la inversión. En el ámbito técnico, el proyecto se desarrollará dentro de las instalaciones actuales del taller agrícola, aprovechando la infraestructura existente y evitando costos adicionales de ampliación.

La implementación del nuevo sistema de mantenimiento será un componente clave del “cómo”. Este se basará en una **metodología de mantenimiento planificado y predictivo**, apoyada por sistemas digitales de monitoreo (telemetría) que permitirán registrar variables críticas en tiempo real: presión hidráulica, temperatura, consumo

de combustible y horas efectivas de operación. La información generada se utilizará para elaborar reportes de eficiencia y anticipar fallas antes de que ocurran.

Además, se contempla la **capacitación técnica del personal** en diagnóstico electrónico, calibración, operación segura y gestión de mantenimiento digital, asegurando que la transición tecnológica sea exitosa y sostenible. La combinación de nuevos equipos, personal capacitado y sistemas de control avanzados permitirá alcanzar los indicadores de desempeño propuestos: una disponibilidad mínima del 85 %, una reducción del costo horario del 30 % y una mayor eficiencia energética del 20 %.

En términos de control y evaluación, el proyecto se gestionará mediante **indicadores clave de desempeño (KPI)** que incluirán: disponibilidad (%), tiempo medio entre fallas (MTBF), tiempo medio de reparación (MTTR), costo horario (USD/h), rendimiento por hectárea (t/h) y consumo promedio de combustible (L/h). Estos indicadores serán monitoreados mensualmente, permitiendo ajustar las estrategias y garantizar la efectividad del proyecto.

### **Síntesis y relevancia estratégica.**

La justificación de este proyecto se sostiene en su **impacto directo sobre la sostenibilidad y competitividad del Ingenio Montelimar**. La renovación de maquinaria agrícola no es una acción aislada, sino parte de una visión estratégica de modernización que busca consolidar un sistema productivo eficiente, rentable y alineado con las exigencias de la agroindustria moderna.

El proyecto es **técnicamente necesario** porque enfrenta una problemática real de obsolescencia que afecta la productividad; es **económicamente viable** porque genera retornos comprobados en plazos razonables; es **socialmente conveniente** porque mejora las condiciones laborales y promueve el desarrollo local; y es **ambientalmente responsable** porque incorpora tecnologías limpias que reducen emisiones y optimizan recursos.

En definitiva, el proyecto se justifica porque **responde a la necesidad de garantizar la sostenibilidad operativa del Ingenio Montelimar y de fortalecer su liderazgo dentro de la industria azucarera nicaragüense**, al mismo tiempo que impulsa una transformación tecnológica, humana y organizacional orientada a la eficiencia, la innovación y el desarrollo sostenible.

## 4.1 Limitantes y riesgos

Todo proyecto de modernización tecnológica está sujeto a limitaciones y riesgos derivados tanto de factores internos como externos. En el caso del proyecto de **renovación de maquinaria agrícola para la cosecha mecanizada de caña de azúcar en la Corporación Montelimar S.A.**, las restricciones identificadas abarcan aspectos técnicos, financieros, humanos, sociopolíticos y operativos. Reconocer estas condiciones no debilita la propuesta, sino que fortalece su planificación al permitir establecer estrategias de mitigación efectivas que aseguren la sostenibilidad de la inversión y el logro de los resultados esperados.

Desde el punto de vista **técnico**, la principal limitación radica en el proceso de integración de tecnología moderna dentro de un sistema operativo que durante años ha trabajado con maquinaria de generaciones anteriores. La incorporación de nuevos equipos con sistemas electrónicos, hidráulicos avanzados y monitoreo digital implica una transición que requiere reentrenamiento del personal técnico, ajustes en los protocolos de mantenimiento y una reorganización del inventario de repuestos. Aunque la capacitación prevista en el proyecto reducirá este impacto, el proceso de adaptación puede generar cierta curva de aprendizaje que afecte temporalmente la productividad en los primeros meses de implementación. Asimismo, la dependencia de proveedores internacionales para la adquisición de repuestos y asistencia técnica especializada representa un riesgo logístico y financiero, debido a los posibles retrasos en la cadena de suministro.

En el plano **financiero**, el proyecto contempla una inversión inicial de **2.284 millones de dólares**, respaldada parcialmente por financiamiento con una tasa del 10 % anual. A pesar de su alta rentabilidad proyectada, factores externos como la variación de tasas de interés, la inflación o la disponibilidad de divisas podrían afectar los flujos de caja y los plazos de ejecución. También se reconoce que las políticas fiscales o las condiciones crediticias del país pueden incidir en los costos finales de adquisición e importación de las nuevas cosechadoras. Por ello, el Ingenio Montelimar deberá mantener una gestión financiera dinámica y flexible, diversificando sus fuentes de financiamiento y negociando líneas de crédito favorables para reducir la exposición a estas fluctuaciones.

El **contexto sociopolítico nacional** representa otro riesgo considerable. En los últimos años, Nicaragua ha enfrentado una serie de **crisis sociopolíticas y económicas** que han afectado la inversión privada, la confianza empresarial y la estabilidad del mercado laboral. Las tensiones políticas y la incertidumbre económica pueden impactar negativamente en la logística de importación, en los costos de transporte y en la planificación de la zafra. Además, los periodos de inestabilidad social podrían afectar la moral del personal y la seguridad en zonas productivas. Aunque la Corporación Montelimar ha demostrado resiliencia y solidez operativa incluso en escenarios adversos, la empresa debe mantener una lectura constante del entorno y fortalecer su capacidad de adaptación ante posibles contingencias nacionales.

Uno de los desafíos más relevantes identificados es la **escasez de mano de obra calificada en áreas técnicas**. Este fenómeno se ha intensificado en los últimos años debido a la migración laboral, la limitada oferta educativa en zonas rurales y la falta de programas de formación continua en tecnologías agrícolas avanzadas. El funcionamiento óptimo de las nuevas cosechadoras requiere técnicos especializados en sistemas hidráulicos, electrónica, diagnóstico computarizado y gestión de mantenimiento digital, perfiles que actualmente son escasos en el mercado nacional. Esta situación representa un riesgo para la sostenibilidad operativa, pues la falta de personal capacitado podría retrasar la implementación del nuevo sistema o incrementar los costos laborales.

Para mitigar esta limitación, la Corporación Montelimar implementará **campañas estratégicas de captación y retención del talento humano técnico**, priorizando la búsqueda de jóvenes profesionales, egresados de institutos tecnológicos y técnicos agrícolas con potencial de desarrollo. Estas campañas incluirán programas de pasantías, convenios con centros de formación técnica y planes de desarrollo profesional dentro de la empresa. Asimismo, se contempla una **revisión estructural de los niveles salariales y beneficios del personal técnico**, con el fin de ofrecer remuneraciones competitivas que reduzcan la rotación y promuevan la estabilidad laboral. Este enfoque permitirá no solo retener a los técnicos más experimentados, sino también construir una nueva generación de especialistas comprometidos con los objetivos del ingenio. En paralelo, se desarrollarán programas internos de formación continua y certificaciones técnicas en alianza con el proveedor oficial de maquinaria (John Deere), fortaleciendo la autosuficiencia operativa a largo plazo.

Desde una perspectiva **ambiental y climática**, otro riesgo potencial radica en los efectos del cambio climático sobre la producción de caña. Fenómenos como lluvias intensas, sequías prolongadas o variaciones de temperatura pueden alterar los ciclos de zafra y reducir la eficiencia del corte mecanizado. Aunque estos factores están fuera del control directo del proyecto, su impacto puede mitigarse mediante una planificación flexible, el uso de maquinaria más eficiente y la integración de sistemas de monitoreo climático que permitan ajustar las operaciones de manera preventiva.

En el aspecto **operativo**, las limitaciones se asocian principalmente a la infraestructura del taller agrícola, la capacidad de respuesta técnica y la logística de campo. La introducción de cosechadoras modernas exigirá adaptar el sistema de mantenimiento, reorganizar los flujos de trabajo y actualizar los procedimientos de diagnóstico. Si bien la infraestructura existente del Ingenio Montelimar es suficiente para albergar los nuevos equipos, será necesario invertir en herramientas especializadas, software de análisis y sistemas de gestión de mantenimiento digital. El incumplimiento de estas adecuaciones podría generar retrasos operativos o disminuir la eficiencia del mantenimiento planificado.

En cuanto a los **alcances del proyecto**, la renovación de maquinaria impactará de manera directa en la **modernización del sistema de cosecha mecanizada**, la reducción de los costos operativos y la mejora de la productividad agrícola. Su

alcance geográfico se limita a las plantaciones y operaciones agrícolas del Ingenio Montelimar en el municipio de San Rafael del Sur, mientras que su alcance institucional comprende las áreas de **Producción Agrícola, Talleres y Servicios, Logística y Gestión Técnica**. En términos temporales, el proyecto tiene un horizonte de ejecución de **dos años**, que abarca la adquisición de maquinaria, la instalación, capacitación, puesta en marcha y la evaluación del desempeño durante los primeros ciclos de operación.

Los **riesgos identificados**, aunque significativos, son **controlables mediante estrategias de mitigación bien definidas**. Entre ellas destacan: la diversificación de las fuentes de financiamiento, la planificación logística flexible, la creación de alianzas con proveedores internacionales, la inversión en infraestructura técnica, y la implementación de campañas sostenidas de atracción y retención del talento técnico. Estas medidas fortalecerán la capacidad operativa del ingenio y garantizarán la continuidad del proyecto aun en escenarios económicos o políticos adversos.

En el plano **crítico y analítico**, debe reconocerse que el mayor reto del proyecto radica precisamente en su fortaleza: la **modernización tecnológica**. La dependencia de tecnología importada en un contexto nacional con infraestructura limitada para su soporte exige una gestión estratégica del conocimiento, la formación local de técnicos y la consolidación de relaciones con fabricantes para la transferencia tecnológica. No obstante, este desafío abre una ventana de oportunidad para que el Ingenio Montelimar lidere la modernización de la agroindustria nicaragüense, generando capacidades locales, impulsando la innovación y contribuyendo al desarrollo de capital humano especializado.

Finalmente, es importante resaltar que los riesgos asociados al entorno sociopolítico y a la escasez de personal técnico no deben interpretarse como obstáculos insuperables, sino como **factores que impulsan la resiliencia empresarial**. Frente a la incertidumbre, Montelimar puede consolidar un modelo de gestión adaptativo, basado en la eficiencia, la formación y la innovación. Las campañas de captación de talento, los incentivos salariales competitivos y la apuesta por la profesionalización técnica constituyen no solo una respuesta inmediata, sino una inversión estratégica en el futuro de la empresa y del país.

### **Comentario final**

La gestión responsable de riesgos y limitaciones es, en sí misma, una manifestación de madurez institucional. El proyecto de renovación de maquinaria agrícola no solo busca reemplazar activos físicos, sino **construir capacidades técnicas, humanas y organizativas** que aseguren la sostenibilidad del Ingenio Montelimar ante los retos de un entorno cambiante. En este sentido, la combinación de tecnología, capacitación y políticas activas de retención del talento convierte a este proyecto en un ejemplo de **resiliencia empresarial e innovación estratégica** dentro de la agroindustria nicaragüense.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### La modernización tecnológica en la agroindustria

La modernización tecnológica en la agroindustria se ha consolidado en las últimas décadas como un pilar esencial para garantizar la eficiencia, sostenibilidad y competitividad de los sistemas productivos. En un contexto global marcado por la digitalización y la automatización de procesos, las empresas agrícolas que invierten en innovación tecnológica logran aumentar significativamente su productividad y reducir los costos operativos asociados al mantenimiento, la energía y la mano de obra.

De acuerdo con el **Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 2021)**, la incorporación de maquinaria moderna en el sector agrícola puede generar **incrementos de hasta un 30 % en la productividad**, especialmente en cultivos industriales como la caña de azúcar, donde la mecanización del corte y transporte representa uno de los eslabones más costosos del proceso. La mecanización moderna no solo aumenta el rendimiento operativo, sino que también reduce los impactos ambientales y mejora la trazabilidad de las operaciones, permitiendo implementar prácticas más sostenibles y eficientes.

En la agroindustria azucarera, la tecnología aplicada al campo ha evolucionado de manera significativa. Los ingenios más competitivos de América Latina — especialmente en Brasil, Colombia y Guatemala— han adoptado cosechadoras equipadas con sistemas de monitoreo satelital, telemetría, control de consumo de combustible y gestión electrónica del motor. Estas innovaciones han permitido **disminuir hasta en un 25 % los tiempos de corte y en un 18 % los costos de operación**, gracias a la precisión en el manejo y al mantenimiento predictivo. En este sentido, la **Corporación Montelimar S.A.** tiene la oportunidad de alinearse con estas tendencias internacionales mediante la renovación de su flota de maquinaria, lo cual fortalecerá su posición en el mercado nacional y regional.

### Impacto de la antigüedad de la maquinaria en la productividad

La antigüedad de la maquinaria agrícola constituye uno de los factores más determinantes en la eficiencia del proceso productivo. Una flota obsoleta se traduce en menores niveles de disponibilidad, aumento de los tiempos muertos, incremento de los costos de mantenimiento y mayor probabilidad de fallas mecánicas durante la zafra. Según el **IICA (2021)**, la obsolescencia tecnológica en la agroindustria puede generar una **pérdida promedio del 20 % en la eficiencia operativa anual**, derivada de la frecuencia de reparaciones, la falta de compatibilidad con nuevas tecnologías y la baja confiabilidad de los equipos.

En el caso del **Ingenio Montelimar**, los registros históricos evidencian una disponibilidad promedio del **72.47 %**, por debajo del estándar institucional del 85 %. Este descenso se debe a la antigüedad de las cosechadoras, que han superado su ciclo óptimo de vida útil, elevando los tiempos medios de reparación (MTTR) y reduciendo los tiempos medios entre fallas (MTBF). Como consecuencia, la producción diaria de caña cosechada se ha reducido, prolongando la zafra y afectando los márgenes de rentabilidad.

El impacto de esta obsolescencia va más allá de lo operativo: influye directamente en los indicadores financieros y en la planificación agrícola. La prolongación del ciclo de cosecha incrementa el consumo de combustible, las horas extras del personal y el desgaste de los equipos de transporte, elevando los costos fijos de operación. Por ello, la renovación tecnológica no debe verse como un gasto, sino como una **inversión estratégica en productividad, rentabilidad y sostenibilidad**.

### **Tecnologías emergentes en maquinaria agrícola**

El avance tecnológico en maquinaria agrícola ha permitido el desarrollo de equipos más inteligentes, eficientes y sostenibles. Las cosechadoras de última generación incorporan **sensores electrónicos, sistemas de diagnóstico remoto, control de telemetría y monitoreo en tiempo real**, lo que permite detectar fallas incipientes, optimizar el uso del combustible y mejorar la precisión en el corte de la caña.

Según **Albuque-Webb (2016)**, un estudio realizado en ingenios de Brasil demostró que la renovación tecnológica incrementó en un **25 % la eficiencia del corte** y redujo los **costos operativos en un 18 %**, al implementar sistemas de control electrónico e inteligencia operativa. Este tipo de evidencia empírica resulta altamente aplicable al caso de Montelimar, ya que ambos contextos comparten condiciones de cultivo y exigencias productivas similares.

La adopción de maquinaria equipada con **tecnología hidráulica optimizada, motores de bajo consumo y algoritmos de eficiencia energética** contribuye a reducir las emisiones contaminantes y el desgaste de componentes, extendiendo la vida útil del equipo. Además, la compatibilidad de los nuevos sistemas con plataformas digitales de gestión agrícola permite a las empresas recopilar y analizar datos en tiempo real, mejorando la toma de decisiones técnicas y económicas.

En este contexto, la **modernización tecnológica** no es solo una mejora mecánica, sino una transformación digital del proceso agrícola, que convierte la gestión de maquinaria en una fuente de información estratégica para la empresa.

## Enfoque técnico–económico para la toma de decisiones

La toma de decisiones sobre inversiones en maquinaria requiere un **enfoque técnico–económico integral**, que combine variables de desempeño operativo, costos, rentabilidad y sostenibilidad. El análisis costo–beneficio, la evaluación del ciclo de vida de los equipos (LCC, Life Cycle Costing) y las simulaciones de escenarios son herramientas fundamentales para justificar la viabilidad de una renovación tecnológica.

De acuerdo con **García y Hernández (2019)**, las decisiones de inversión en el sector agroindustrial deben considerar no solo el precio inicial del equipo, sino también los costos de mantenimiento, el consumo energético, la disponibilidad operativa esperada y el impacto ambiental. En ese sentido, una máquina más costosa al inicio puede resultar más rentable a largo plazo si reduce los costos de operación y prolonga su vida útil.

El proyecto de renovación de maquinaria en la Corporación Montelimar aplica precisamente este enfoque, al evaluar la rentabilidad del proyecto con base en indicadores como el **Valor Presente Neto (VPN)**, la **Tasa Interna de Retorno (TIR)** y la **Relación Beneficio–Costo (RBC)**. Los resultados financieros positivos, incluso bajo escenarios conservadores, demuestran que la decisión de invertir en maquinaria moderna es técnica y económicamente sólida.

Este enfoque técnico–económico permite, además, fundamentar la renovación no solo como una necesidad operativa, sino como una estrategia empresarial de optimización de recursos, reducción de riesgos y fortalecimiento de la competitividad en un mercado globalizado.

## Sostenibilidad y productividad como ejes estratégicos

La sostenibilidad y la productividad se han convertido en pilares complementarios de la gestión agroindustrial moderna. La **modernización tecnológica** no debe entenderse únicamente como un medio para aumentar la producción, sino también como un compromiso con el uso eficiente de los recursos naturales, la reducción del impacto ambiental y la generación de valor social.

La **transición hacia tecnologías limpias** —motores de bajas emisiones, sistemas hidráulicos de alta eficiencia y sensores de control de consumo— representa un paso decisivo para reducir la huella de carbono del proceso productivo. Al mismo tiempo, las cosechadoras modernas optimizan el aprovechamiento de la materia prima, reducen la pérdida de caña en el campo y mejoran la calidad del producto final.

La sostenibilidad también implica **mejorar las condiciones laborales y de seguridad del personal técnico y operativo**. La incorporación de maquinaria moderna disminuye la exposición a riesgos físicos, reduce la fatiga laboral y promueve un ambiente de trabajo más seguro y ergonómico. Estos beneficios se traducen en un aumento de la productividad y una mayor retención del talento humano, especialmente en un contexto donde la escasez de técnicos calificados representa un desafío estructural.

De esta forma, la renovación tecnológica de la maquinaria agrícola no solo impulsa la productividad, sino que **reafirma el compromiso social y ambiental** de la Corporación Montelimar, alineando sus operaciones con los **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**, especialmente en los apartados de trabajo decente, innovación industrial y acción por el clima.

### **La gestión del talento humano como factor de sostenibilidad técnica**

En la era de la mecanización avanzada, el talento humano sigue siendo el pilar que garantiza el éxito de los proyectos tecnológicos. La introducción de maquinaria moderna en la agroindustria demanda técnicos especializados en electrónica, hidráulica, programación de sensores y diagnóstico digital, competencias que requieren inversión constante en capacitación y retención.

En Nicaragua, la escasez de técnicos calificados constituye un reto para el sector agroindustrial. Por ello, la Corporación Montelimar ha proyectado **estrategias de mitigación y fortalecimiento del talento técnico**, que incluyen campañas de reclutamiento, convenios con institutos tecnológicos, y la mejora de los niveles salariales y de incentivos. Estas acciones no solo buscan cubrir la demanda actual, sino también formar una base de conocimiento local que asegure la autosuficiencia tecnológica del ingenio a largo plazo.

En este sentido, el capital humano se convierte en el verdadero motor de la modernización. Las máquinas modernas pueden duplicar la eficiencia, pero solo si están operadas y mantenidas por personal capacitado. Por tanto, el proyecto de renovación de maquinaria de Montelimar es también un **proyecto de desarrollo de capacidades humanas**, que promueve una cultura de innovación, aprendizaje continuo y sentido de pertenencia organizacional.



## Conclusión del marco teórico

El análisis teórico demuestra que la modernización tecnológica, la sostenibilidad productiva, la formación del talento humano y la gestión eficiente de los recursos constituyen los pilares de un modelo agroindustrial competitivo. En este contexto, la renovación de maquinaria agrícola en la **Corporación Montelimar S.A.** no es únicamente una inversión técnica, sino una estrategia integral para fortalecer la eficiencia, rentabilidad y sostenibilidad del ingenio.

El marco teórico confirma que los beneficios esperados —reducción de costos, mejora en la disponibilidad operativa, aumento del rendimiento y fortalecimiento institucional— son consistentes con las mejores prácticas internacionales del sector. En consecuencia, este proyecto se posiciona como un modelo de modernización adaptable a la realidad nacional, contribuyendo al desarrollo de la agroindustria nicaragüense bajo principios de **innovación, eficiencia y sostenibilidad.**

## CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

### 1. Área de localización del estudio

El presente estudio se desarrolla en el ámbito operativo de la **Corporación Montelimar S.A.**, una de las **cuatro principales agroindustrias azucareras de Nicaragua**, con operaciones integradas que abarcan desde el cultivo y corte de caña de azúcar hasta la producción, industrialización y exportación del producto final. La empresa forma parte del núcleo productivo del sector azucarero nacional, cuya relevancia económica es determinante para el crecimiento agrícola y la generación de empleo en la región del Pacífico nicaragüense.

La **Corporación Montelimar** tiene su centro de operaciones en el municipio de **San Rafael del Sur**, departamento de **Managua**, y cuenta con un **radio operativo de aproximadamente 70 kilómetros de diámetro**, dentro del cual se distribuyen sus plantaciones, centros de acopio, caminos de acarreo y frentes de cosecha. Esta amplia zona de influencia abarca diversas comunidades rurales, fincas productoras y rutas agrícolas, configurando un ecosistema agroindustrial que integra tecnología, logística y capital humano especializado.

En el centro de esta red se encuentra el **Departamento de Talleres y Servicios Agrícolas**, que constituye el **punto neurálgico del sistema de mecanización de la cosecha**. Este departamento tiene bajo su responsabilidad la **planificación, ejecución y supervisión de todas las actividades relacionadas con la operación, mantenimiento, reparación e inversión en maquinaria agrícola**, especialmente en la flota de **cosechadoras de caña**. Su función es estratégica, pues garantiza la continuidad de las operaciones durante la zafra, la disponibilidad de los equipos y la eficiencia técnica en el uso de recursos.

La **extensión territorial de las operaciones** representa uno de los principales desafíos logísticos y técnicos para la empresa. Las cosechadoras deben desplazarse constantemente dentro de un área amplia, enfrentando condiciones variables de terreno, humedad y topografía. Esto implica una exigencia constante en mantenimiento preventivo, reposición de componentes y coordinación entre el taller central y los equipos de campo. El estudio se enfoca precisamente en este entorno operativo, donde convergen las decisiones de inversión, los programas de mantenimiento y las estrategias de renovación tecnológica.

El Departamento de Talleres y Servicios cuenta con una **infraestructura moderna** que incluye talleres especializados para motores, hidráulica y electrónica, además de zonas de calibración, almacenes de repuestos y áreas administrativas. También dispone de un **sistema digital de registro técnico**, que documenta indicadores como horas máquina, tiempo medio entre fallas (MTBF), tiempo medio de reparación (MTTR), costos de mantenimiento, consumo de combustible y

disponibilidad operativa. Estos registros constituyen la fuente principal de información técnica y documental utilizada en la presente investigación.

Desde el punto de vista **geográfico y ambiental**, el municipio de San Rafael del Sur presenta un clima tropical de sabana, con una temperatura media anual de 27 °C y un régimen de lluvias concentrado entre mayo y octubre. Estas condiciones, aunque favorables para el desarrollo de la caña de azúcar, demandan una gestión eficiente de la maquinaria agrícola, ya que las precipitaciones y la humedad del suelo afectan directamente el rendimiento y la vida útil de los equipos. En época de zafra, las condiciones del terreno influyen significativamente en la productividad y en la programación de mantenimientos, lo cual se considera dentro del marco de análisis del proyecto.

La ubicación estratégica del ingenio, a tan solo **65 kilómetros de la ciudad de Managua**, permite un acceso logístico ágil a proveedores nacionales y distribuidores internacionales de maquinaria, entre ellos **John Deere**, marca oficial proveedora de las cosechadoras utilizadas en Montelimar. Esta cercanía facilita la adquisición de repuestos, la asistencia técnica y la actualización tecnológica, factores esenciales para el éxito del programa de renovación planteado en el proyecto.

Finalmente, la elección de este lugar como área de estudio se justifica porque en él se concentran los **procesos críticos de gestión técnica y operativa de la maquinaria agrícola**. Es en el Departamento de Talleres y Servicios donde se manifiestan de forma más evidente las consecuencias de la obsolescencia mecánica, los costos de mantenimiento y la baja disponibilidad de los equipos. Asimismo, es el punto de partida desde el cual se coordina la implementación del plan de renovación tecnológica, la capacitación del personal y la modernización del sistema de mantenimiento.

Por tanto, el **área de localización del estudio** no solo representa el espacio físico donde operan las cosechadoras, sino también el **centro de gestión del conocimiento técnico, la innovación y la eficiencia operativa** dentro de la Corporación Montelimar S.A. Su rol articulador entre el campo y la industria lo convierte en el escenario ideal para analizar, evaluar y proponer estrategias de modernización que fortalezcan la competitividad del ingenio en el mercado azucarero nacional e internacional.

## 2. Tipo de estudio según el enfoque, amplitud o período

El presente proyecto de investigación se enmarca dentro de un **enfoque cuantitativo**, ya que se fundamenta en el análisis de datos numéricos, indicadores técnicos y financieros obtenidos de registros reales de operación, mantenimiento y rendimiento de la maquinaria agrícola perteneciente a la **Corporación Montelimar S.A.**. Este enfoque permite caracterizar de forma objetiva la situación actual de la flota de cosechadoras, identificando las principales variables que influyen en su

desempeño, como la **disponibilidad operativa, la frecuencia de fallas, el tiempo medio de reparación (MTTR), el tiempo medio entre fallas (MTBF)** y los **costos por hora de operación**.

El enfoque cuantitativo se justifica porque el estudio busca **medir y analizar fenómenos observables y verificables**, utilizando herramientas estadísticas, hojas de control, análisis de correlaciones y modelos de comparación para evaluar el impacto de la antigüedad de los equipos sobre la productividad del sistema mecanizado de cosecha. Los resultados obtenidos de estas mediciones sirven de base para formular propuestas técnicas y financieras concretas que permitan mejorar la eficiencia del proceso y optimizar el uso de los recursos disponibles.

De acuerdo con la clasificación de Hernández, Fernández y Baptista (2022), este tipo de estudio corresponde a un **diseño descriptivo**, porque tiene como propósito principal **caracterizar la situación actual** del parque de maquinaria agrícola sin intervenir directamente en las variables del fenómeno. La investigación se centra en observar, registrar y analizar los datos existentes sobre la operación de las cosechadoras y los costos asociados, con el fin de comprender las causas del bajo rendimiento y plantear soluciones desde la gestión técnica y económica.

Asimismo, el estudio es de **corte transversal**, ya que la recolección de información se realizó en un **periodo específico**, correspondiente al ciclo productivo o zafra **2024–2025**. Este período se seleccionó estratégicamente porque representa una muestra representativa de las condiciones operativas actuales del ingenio y refleja los efectos acumulados de la antigüedad y desgaste de las máquinas. La información obtenida durante este ciclo incluye registros diarios de mantenimiento, reportes de disponibilidad, consumo de combustible, costos presupuestarios y desempeño operativo, los cuales fueron analizados de forma simultánea para obtener una visión integral del sistema.

El carácter **aplicado y evaluativo** del estudio también es relevante dentro de su tipología metodológica. No se trata únicamente de describir el problema, sino de **evaluar cuantitativamente su impacto económico y operativo** y, a partir de ello, **formular un proyecto de renovación de maquinaria agrícola** que contribuya a mejorar la rentabilidad del proceso de cosecha mecanizada. Por tanto, la investigación combina el rigor analítico de un estudio descriptivo con la orientación práctica de un estudio de aplicación empresarial, alineado con los objetivos estratégicos de la Corporación Montelimar.

El enfoque cuantitativo–descriptivo y transversal permite además garantizar la **precisión y reproducibilidad** de los resultados, ya que las variables analizadas se sustentan en registros históricos y evidencias documentadas. Esto facilita la elaboración de comparaciones objetivas entre distintos años de operación, así como la proyección de escenarios futuros bajo condiciones de modernización tecnológica.

Desde una perspectiva metodológica, esta tipología resulta adecuada para investigaciones orientadas a la **evaluación de proyectos industriales**, donde las

decisiones deben basarse en datos verificables que respalden la factibilidad técnica y económica de las inversiones. En este caso, los resultados del análisis cuantitativo servirán como fundamento para estimar indicadores financieros como el **Valor Presente Neto (VPN)**, la **Tasa Interna de Retorno (TIR)** y la **Relación Beneficio–Costo (RBC)**, los cuales serán aplicados en la evaluación final del proyecto.

En resumen, el **tipo de estudio** se define como **cuantitativo, descriptivo, de corte transversal y de carácter aplicado**, desarrollado dentro del contexto operativo del Ingenio Montelimar durante la zafra 2024–2025. Este enfoque metodológico proporciona el marco científico necesario para comprender el comportamiento real de la flota de maquinaria, cuantificar el impacto de la obsolescencia tecnológica y fundamentar, con rigor técnico, la propuesta de renovación y modernización de las cosechadoras.

### 3. Población, muestra

#### Población

La **población del estudio** está compuesta por el conjunto de recursos **técnicos, humanos y operativos** que participan directa o indirectamente en el proceso de cosecha mecanizada de caña de azúcar dentro de la **Corporación Montelimar S.A.**, específicamente en el **Departamento de Talleres y Servicios Agrícolas**, el cual constituye el centro administrativo y técnico de las operaciones de maquinaria.

Esta área tiene bajo su responsabilidad la **planificación, mantenimiento, reparación y control de desempeño** de la flota de **10 cosechadoras agrícolas** que operan dentro de un **radio de 70 kilómetros de diámetro**, cubriendo los distintos frentes de corte de la corporación. Su función es estratégica, pues de su gestión depende la continuidad de la zafra, la eficiencia en el suministro de caña a la planta industrial y la reducción de costos operativos.

La población total del estudio está integrada por los siguientes elementos:

- **10 cosechadoras agrícolas activas**, de diferentes modelos y años de fabricación.
- **18 técnicos especializados** en mantenimiento mecánico, hidráulico y eléctrico.
- **1 supervisor general de taller**, encargado del control operativo y la planificación diaria de mantenimiento.
- **2 operadores asignados a cada cosechadora**, responsables de la operación durante los turnos de zafra (para un total de **20 operadores activos**).
- **1 receptor técnico**, encargado del registro, análisis y diagnóstico de las fallas recurrentes de la maquinaria.

- **1 coordinador de área**, quien supervisa las actividades generales y garantiza la comunicación entre las áreas agrícola y mecánica.
- **1 superintendente del área agrícola**, responsable de las estrategias de operación de campo y control de productividad.
- **1 gerente de maquinaria**, encargado de la dirección técnica, presupuestaria y de inversión de la flota.

En conjunto, esta población conforma una estructura funcional jerárquica que abarca todos los niveles de gestión técnica y administrativa del sistema mecanizado de cosecha, desde la operación directa de las máquinas hasta la toma de decisiones estratégicas sobre renovación tecnológica e inversión.

## Muestra

Para efectos del estudio, se seleccionó una **muestra representativa y funcional**, utilizando el método de **muestreo no probabilístico por juicio o conveniencia**, el cual permite elegir las unidades y participantes que mejor representan las condiciones técnicas y operativas que se desean analizar. Este enfoque se justifica porque la investigación requiere información **altamente especializada**, proveniente de equipos y personal con experiencia comprobada en la operación y mantenimiento de maquinaria pesada agrícola.

De las **10 cosechadoras activas**, se seleccionaron **5 unidades** para su revisión, diagnóstico y análisis detallado dentro del proyecto. Los criterios de selección fueron los siguientes:

- Antigüedad superior a cinco años.
- Alta frecuencia de fallas mecánicas o hidráulicas registradas.
- Variabilidad en el rendimiento operativo diario.
- Diferencias significativas en consumo de combustible y costos de reparación.
- Representación de distintos modelos y series de la marca **John Deere**.

Esta selección representa el **50 % de la flota total**, lo que asegura una cobertura técnica suficiente para extrapolar los resultados y proponer mejoras aplicables a todo el sistema.

En cuanto al componente humano, la muestra de participantes quedó conformada por **26 personas**, distribuidas de la siguiente forma:

- **18 técnicos especializados**, responsables del mantenimiento mecánico, eléctrico e hidráulico.
- **1 supervisor general de taller**, con funciones de planificación y control operativo.
- **10 operadores (2 por cada máquina seleccionada)**, encargados de la operación diaria, reportes de fallas y tiempos de trabajo.
- **1 receptor técnico**, encargado de recopilar y sistematizar los registros de fallas, horas máquina y repuestos utilizados.

- **1 coordinador de área**, que supervisa la ejecución técnica de los programas de mantenimiento y el cumplimiento de estándares de calidad.
- **1 superintendente del área agrícola**, responsable de la logística y la integración entre campo y taller.
- **1 gerente de maquinaria**, que dirige la planificación estratégica, inversiones, compras y control presupuestario del departamento.

Este conjunto de participantes fue seleccionado bajo los criterios de **experiencia, nivel de responsabilidad y conocimiento técnico directo** sobre las operaciones de maquinaria agrícola. Cada uno aporta información desde su ámbito de competencia, lo que garantiza una visión integral de los aspectos técnicos, financieros y organizativos del sistema.

### **Justificación del tamaño muestral**

El tamaño muestral se considera **suficiente y representativo** en función de los objetivos del estudio, ya que las cinco máquinas seleccionadas y los 26 participantes cubren de forma completa los procesos críticos de operación, mantenimiento y gestión técnica de la flota agrícola.

La decisión de incluir el **50 % de la maquinaria total** responde al principio de **representatividad funcional**, priorizando aquellas unidades que presentan mayores niveles de desgaste y mayor frecuencia de intervenciones en el taller. Este criterio permite realizar un análisis comparativo entre las unidades más críticas y las que mantienen niveles aceptables de desempeño, generando información confiable para proyectar el impacto de la renovación tecnológica.

En cuanto al componente humano, la inclusión de técnicos, operadores, personal de supervisión y directivos asegura que se cubran los distintos **niveles jerárquicos** de toma de decisiones y ejecución, lo cual es indispensable para formular una propuesta de mejora que sea **técnicamente viable y organizacionalmente coherente**.

### **Pertinencia de la muestra para la investigación**

La muestra seleccionada es altamente pertinente para los propósitos del estudio, ya que representa todos los eslabones de la cadena operativa y de gestión técnica de la maquinaria agrícola en Montelimar. Su composición multidimensional permite analizar tres perspectivas clave:

1. **Técnica:** Evaluación de las condiciones mecánicas, eléctricas e hidráulicas de las cosechadoras seleccionadas, identificando patrones de falla, consumo y rendimiento.
2. **Operativa:** Análisis del uso real de la maquinaria, tiempos efectivos de trabajo, horas improductivas y planificación de mantenimiento preventivo.
3. **Gerencial y administrativa:** Revisión de la estructura de decisiones, control de presupuestos, políticas de inversión y estrategias de renovación tecnológica.

Esta combinación garantiza la confiabilidad de los resultados y fortalece la validez del proyecto, ya que la información proviene de **fuentes directas, cualificadas y con conocimiento profundo de las operaciones agrícolas mecanizadas**. En consecuencia, los hallazgos y propuestas derivados del estudio tendrán una **aplicabilidad inmediata** dentro de la Corporación Montelimar S.A., contribuyendo al cumplimiento de sus metas estratégicas de eficiencia, productividad y sostenibilidad.

### 3.1. Tipo de muestra y muestreo

El presente estudio emplea un **muestreo no probabilístico por juicio o conveniencia**, combinado con un **análisis cuantitativo descriptivo de tipo censal parcial**, fundamentado en los registros históricos del sistema de mantenimiento del Ingenio Montelimar. Este enfoque metodológico fue seleccionado porque permite concentrar el análisis en las **unidades más representativas y críticas** del proceso de cosecha mecanizada, garantizando así resultados precisos, relevantes y directamente aplicables a la toma de decisiones de inversión tecnológica.

En este caso, la muestra estuvo conformada por **cinco (5) cosechadoras agrícolas**, seleccionadas de un total de **diez (10) unidades activas** que componen la flota mecanizada de la **Corporación Montelimar S.A.**. La selección se realizó **de manera intencional**, bajo criterios técnicos previamente definidos y sustentados en los registros de desempeño, mantenimiento y costos acumulados.

Las **cinco unidades seleccionadas** corresponden a las **máquinas más antiguas del parque agrícola**, con más de **cinco años de servicio continuo**, y que han mostrado consistentemente **baja disponibilidad operativa, mayor frecuencia de fallas y costos de mantenimiento significativamente elevados**. Estas máquinas concentran una proporción importante de las paradas no programadas y de los gastos asociados a reparaciones mayores, consumo de repuestos y horas de mano de obra técnica.

Los **criterios técnicos de selección** aplicados fueron los siguientes:

1. **Antigüedad superior a cinco años**, excediendo el ciclo de vida útil óptimo recomendado por el fabricante.
2. **Baja disponibilidad operativa promedio**, inferior al 75 %, frente a la meta institucional del 85 %.
3. **Alta frecuencia de fallas recurrentes** documentadas en el sistema interno de mantenimiento (fallas hidráulicas, eléctricas y de corte).
4. **Altos costos de reparación acumulados** durante las últimas tres zafras, superando el promedio de mantenimiento de las unidades más recientes.
5. **Historial elevado de consumo de combustible y lubricantes por hora máquina.**
6. **Diversidad de componentes críticos reemplazados**, lo que refleja el desgaste estructural de las unidades.

La elección de estas cinco máquinas responde al principio de **criticidad operativa**, es decir, se seleccionaron aquellas unidades que representan el mayor riesgo de pérdida de eficiencia, productividad y rentabilidad dentro del sistema. Analizar las máquinas más deterioradas y costosas permite cuantificar con mayor claridad el impacto de la obsolescencia tecnológica y proyectar los beneficios esperados de la renovación.

En cuanto al **componente humano**, se aplicó el mismo criterio de selección intencional, incluyendo únicamente a los actores **directamente relacionados con la operación, mantenimiento y gestión de las cinco unidades seleccionadas**. La muestra humana estuvo conformada por **26 personas**, distribuidas de la siguiente forma:

- **18 técnicos especializados** en mantenimiento mecánico, eléctrico e hidráulico, con experiencia mínima de tres años.
- **1 supervisor de taller**, responsable de la programación, control de órdenes de trabajo y verificación de reparaciones.
- **10 operadores** (dos por cada máquina seleccionada), encargados de la operación diaria y el registro de incidencias en campo.
- **1 receptor técnico**, encargado del registro, sistematización y análisis de las fallas reportadas y los tiempos de reparación.
- **1 coordinador de área**, que supervisa la integración entre taller y operaciones agrícolas.
- **1 superintendente agrícola**, responsable de la planificación general de la zafra y de la evaluación del rendimiento operativo.
- **1 gerente de maquinaria**, encargado de la toma de decisiones en materia de inversión, presupuesto y renovación tecnológica.

Este grupo de participantes constituye el **núcleo técnico y administrativo** del sistema mecanizado de cosecha, garantizando que los datos recopilados reflejen una visión integral del fenómeno: desde el comportamiento mecánico de las máquinas hasta los impactos financieros y organizativos asociados a su mantenimiento.

El análisis de las unidades y del personal seleccionado se sustentó en información **documental y empírica**, obtenida del sistema digital de mantenimiento del taller central, el cual contiene indicadores estadísticos tales como:

- **Tiempo medio entre fallas (MTBF),**
- **Tiempo medio de reparación (MTTR),**
- **Disponibilidad operativa (%),**
- **Costo horario de operación (USD/h),**
- **Costos acumulados de mantenimiento por unidad,**
- **Horas efectivas de trabajo por ciclo de zafra, y**
- **Frecuencia de fallas por tipo de sistema (motor, hidráulico, transmisión, corte y control electrónico).**

Estos datos fueron analizados mediante herramientas de estadística descriptiva (promedios, desviaciones estándar, tendencias y correlaciones), lo que permitió identificar los patrones de comportamiento de cada unidad y determinar su nivel de eficiencia comparativa dentro del conjunto.

De esta manera, el **muestreo por juicio técnico** combinado con el **análisis estadístico documental** proporciona un modelo metodológico robusto, donde las conclusiones se basan en **evidencia empírica verificable y cuantificable**, no en percepciones subjetivas. Este enfoque asegura que los resultados obtenidos sean confiables, reproducibles y útiles para la toma de decisiones estratégicas relacionadas con la renovación del parque de maquinaria agrícola de la Corporación Montelimar S.A.

### 3.2. Técnicas e instrumentos de la investigación

El diseño metodológico del presente estudio se sustenta en la aplicación de un conjunto de **técnicas de investigación cuantitativas y documentales**, orientadas a la obtención, procesamiento y análisis de información técnica, financiera y operativa relacionada con el desempeño de la flota de cosechadoras de la **Corporación Montelimar S.A.** Estas técnicas permitieron garantizar la **validez, confiabilidad y objetividad** de los resultados, al integrar datos estadísticos provenientes de registros oficiales, observaciones directas en campo y percepciones de los actores clave del sistema de mantenimiento.

Dado el carácter **aplicado y evaluativo** del proyecto, las técnicas seleccionadas se centraron en tres niveles de recolección de información:

1. **Documental y estadística**, para analizar datos históricos.
2. **Empírica de campo**, para obtener información directa del entorno operativo.
3. **Cualitativa técnica**, para complementar la interpretación con la experiencia del personal especializado.

### 3.3 Revisión documental y análisis de registros técnicos

Esta técnica consistió en la recopilación, clasificación y análisis de los **registros históricos de mantenimiento, operación y costos** de las diez cosechadoras pertenecientes al ingenio, con especial énfasis en las **cinco unidades seleccionadas** para el estudio.

Las fuentes documentales incluyeron:

- **Bitácoras de mantenimiento preventivo y correctivo**, con detalle de fallas, repuestos utilizados, fechas de intervención y personal asignado.
- **Reportes diarios de operación y rendimiento**, donde se registran las horas efectivas de trabajo, consumo de combustible, interrupciones y causas de paradas.
- **Registros de costos de mantenimiento**, que incluyen gastos en repuestos, mano de obra, lubricantes y servicios externos.
- **Informes de desempeño de la zafra 2024–2025**, emitidos por el área de producción agrícola y el taller central.
- **Registros del sistema digital de gestión de mantenimiento**, donde se encuentran los indicadores técnicos:

**Tiempo medio entre fallas (MTBF)**

**Tiempo medio de reparación (MTTR)**

**Disponibilidad operativa (%)**

**Costo horario (USD/h)**

**Horas efectivas de operación por zafra**

El análisis documental permitió cuantificar la magnitud de la problemática, identificar las principales causas de fallas recurrentes y establecer relaciones entre antigüedad, disponibilidad y costos. Para ello, se aplicaron procedimientos de **análisis estadístico descriptivo**, utilizando medidas de tendencia central (promedios, medianas) y dispersión (desviaciones estándar, variaciones relativas), con el fin de determinar tendencias y correlaciones entre las variables.

### 3.4 Observación directa

La **observación directa** fue una de las técnicas más importantes del estudio, ya que permitió **verificar in situ** las condiciones reales de operación de las cosechadoras seleccionadas, el entorno de trabajo del personal técnico y los procesos de mantenimiento ejecutados en el taller.

Se realizaron **visitas programadas** durante el ciclo de zafra, en las cuales se observaron los siguientes aspectos:

- Estado físico y estructural de las cosechadoras.
- Condiciones del terreno y factores ambientales que inciden en el desempeño de la maquinaria.
- Procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo aplicados por los técnicos.
- Frecuencia y tiempo de las intervenciones.
- Coordinación entre operadores, técnicos y supervisores.
- Cumplimiento de protocolos de seguridad y calidad en las reparaciones.

Esta observación se realizó de manera **sistemática y participativa**, permitiendo complementar los datos estadísticos con evidencia empírica. Además, se emplearon **formatos de registro estructurados**, en los que se consignaron observaciones sobre rendimiento, paradas, tiempos muertos y condiciones operativas de las unidades.

La observación directa proporcionó información práctica para validar los datos de los informes técnicos y permitió contrastar los resultados teóricos con la realidad operativa del campo.

### 3.4 Entrevistas semiestructuradas

Para enriquecer la interpretación de los datos estadísticos y documentales, se aplicaron **entrevistas semiestructuradas** a los principales actores del sistema de mantenimiento y gestión agrícola. Esta técnica cualitativa permitió obtener información de tipo explicativo, relacionada con las percepciones, experiencias y criterios técnicos del personal.

Las entrevistas se realizaron de forma individual, siguiendo una guía con preguntas orientadas a los siguientes temas:

- Causas más frecuentes de fallas en las cosechadoras.
- Factores que afectan la disponibilidad operativa.



- Evaluación de la efectividad del mantenimiento preventivo.
- Opinión sobre la antigüedad de los equipos y sus implicaciones en costos.
- Necesidad y expectativas respecto a la renovación tecnológica.

Los entrevistados incluyeron al **supervisor de taller**, al **receptor técnico**, al **coordinador de área**, al **superintendente agrícola**, al **gerente de maquinaria** y a un grupo representativo de **técnicos y operadores**. Las respuestas fueron analizadas mediante técnicas de **análisis de contenido**, identificando coincidencias y discrepancias con los registros técnicos, lo que permitió reforzar la validez de las conclusiones.

### 3.5 Encuestas estructuradas al personal técnico y operativo

Además de las entrevistas, se aplicó una **encuesta estructurada** con preguntas cerradas a **18 técnicos de mantenimiento** y **10 operadores**, con el objetivo de recopilar información cuantificable sobre:

- Percepción de la frecuencia de fallas.
- Tiempo promedio de reparación.
- Disponibilidad de repuestos.
- Nivel de capacitación técnica.
- Evaluación de la maquinaria actual.
- Opinión sobre la necesidad de renovación de flota.

Las respuestas se procesaron mediante análisis porcentual y tabulación de frecuencias, generando indicadores complementarios a los registros estadísticos. Esta técnica permitió identificar **tendencias de percepción** entre el personal técnico y operativo, correlacionando la información subjetiva con los datos objetivos del taller.

### 3.6 Procesamiento y validación de la información

La información obtenida a través de las diferentes técnicas fue organizada, verificada y procesada en tres etapas:

1. **Clasificación y depuración de datos:** se revisaron los registros para eliminar duplicidades, inconsistencias y errores de digitación.
2. **Codificación y tabulación:** los datos cuantitativos se organizaron en tablas de frecuencia y matrices comparativas según las variables principales (disponibilidad, fallas, costos, MTBF y MTTR).



3. **Análisis estadístico e interpretación:** se aplicaron medidas de tendencia central, porcentajes de variación y análisis de correlación entre variables clave, validando los resultados con la información cualitativa proveniente de las entrevistas y observaciones.

El uso de múltiples técnicas permitió realizar una **triangulación metodológica**, fortaleciendo la fiabilidad del estudio al comparar y contrastar datos provenientes de diferentes fuentes. Gracias a ello, se obtuvo una visión global, coherente y sustentada de la problemática de obsolescencia y de la necesidad de renovación tecnológica en la flota de cosechadoras del Ingenio Montelimar.

## 4. Diseño

### 4.1. Recolección de Datos

La **recolección de datos** en el presente estudio se desarrolló mediante un proceso sistemático y planificado, con el propósito de obtener información confiable, verificable y suficiente para sustentar el diagnóstico técnico, operativo y económico del sistema de cosecha mecanizada de caña de azúcar en la **Corporación Montelimar S.A.** El enfoque adoptado fue de tipo **mixto**, combinando técnicas cuantitativas, cualitativas y documentales, lo que permitió obtener una visión integral de la problemática relacionada con la **obsolescencia de la flota de cosechadoras agrícolas.**

El proceso se estructuró en **tres fases principales**, cada una con métodos y herramientas específicas para garantizar la exactitud y profundidad de los datos recopilados:

1. **Fase documental y estadística**, basada en registros históricos del área de mantenimiento.
2. **Fase empírica de campo**, centrada en la observación directa y levantamiento de información técnica.
3. **Fase de percepción técnica y operativa**, orientada a recabar criterios y valoraciones del personal especializado.

### 4.2 Fase documental y estadística

Durante esta primera fase se realizó una **revisión exhaustiva de los registros técnicos** del Departamento de Talleres y Servicios Agrícolas, fuente primaria de información cuantitativa.

Se recopilaron datos correspondientes a los últimos **tres ciclos de zafra (2022–2025)**, con especial énfasis en las **cinco cosechadoras seleccionadas** como muestra principal.

Las fuentes de información incluyeron:

- **Bitácoras de mantenimiento preventivo y correctivo.**
- **Reportes diarios de operación y consumo de combustible.**
- **Registros digitales de fallas** del sistema interno de control de mantenimiento (software de monitoreo técnico).
- **Órdenes de trabajo y reportes de costos** emitidos por el área de logística y repuestos.
- **Informes mensuales de rendimiento operativo**, elaborados por el superintendente agrícola.

A partir de estos registros se obtuvieron los **principales indicadores técnicos y económicos**, entre ellos:

- Tiempo medio entre fallas (**MTBF**).
- Tiempo medio de reparación (**MTTR**).
- Disponibilidad operativa (%).
- Horas efectivas de trabajo por día.
- Costo horario de mantenimiento (USD/h).
- Costo total acumulado por unidad.
- Frecuencia de fallas por sistema (mecánico, hidráulico, eléctrico, corte y transmisión).

Estos datos se sistematizaron en una base comparativa por máquina y año, lo que permitió identificar **tendencias de deterioro, aumento progresivo de costos y disminución del rendimiento operativo**. Para validar la consistencia de los registros, se aplicó una revisión cruzada entre las bitácoras físicas y el sistema digital, eliminando duplicidades o inconsistencias.

El procesamiento de esta información se efectuó mediante **herramientas de análisis estadístico descriptivo**, utilizando hojas de cálculo y software técnico especializado para determinar promedios, porcentajes, variaciones interanuales y correlaciones entre variables críticas (edad, fallas, costo y disponibilidad).

### 4.3 Fase empírica de campo

La segunda fase consistió en la **recolección directa de información en campo**, durante las operaciones de zafra en curso. Se realizaron observaciones estructuradas a las **cinco cosechadoras en estudio**, abarcando los frentes de corte dentro del radio operativo de **70 kilómetros** que cubre el Ingenio Montelimar.

En esta fase se documentaron variables asociadas al **rendimiento real de las máquinas** y a las **condiciones operativas** bajo las cuales desarrollan sus labores diarias.

Entre los principales aspectos observados se incluyeron:

- Horas efectivas de trabajo por jornada.
- Tiempos muertos por averías y traslados.
- Tipos y frecuencia de fallas mecánicas.
- Eficiencia en el corte y capacidad de carga.
- Consumo diario de combustible y lubricantes.
- Procedimientos y tiempos de mantenimiento en campo.
- Coordinación entre técnicos y operadores durante las reparaciones.
- Condiciones ambientales (temperatura, humedad, tipo de suelo, inclinación del terreno).

Para esta fase se utilizaron **formatos de registro estructurados**, diseñados específicamente para anotar de forma precisa cada evento observado, con campos para hora, tipo de falla, duración, personal involucrado, repuestos utilizados y observaciones generales. Además, se tomaron **fotografías técnicas** y **registros digitales** de los componentes más críticos, como parte del respaldo visual del estudio.

El propósito de esta etapa fue obtener **evidencia empírica complementaria** a los datos estadísticos, verificando en terreno la exactitud de los reportes documentales. Esta observación también permitió medir variables de desempeño no registradas en los sistemas automatizados, como la coordinación del equipo humano, la calidad de las reparaciones y la logística de atención de fallas.

#### 4.4 Fase de percepción técnica y operativa

Con el fin de incorporar la experiencia y criterio del personal especializado, se aplicaron **instrumentos de consulta directa**, como **entrevistas semiestructuradas y encuestas estructuradas** al personal técnico, operativo y administrativo involucrado en las operaciones de maquinaria agrícola.

Los grupos consultados incluyeron:

- **18 técnicos de mantenimiento** (mecánicos, eléctricos e hidráulicos).
- **10 operadores de maquinaria** (dos por cada cosechadora seleccionada).
- **1 supervisor de taller, 1 receptor técnico, 1 coordinador de área, 1 superintendente agrícola y 1 gerente de maquinaria.**

Las entrevistas semiestructuradas se desarrollaron en sesiones presenciales dentro del taller central, utilizando una guía de preguntas enfocada en los siguientes temas:

- Causas recurrentes de fallas y tiempos promedio de reparación.
- Disponibilidad y calidad de repuestos.
- Capacidad técnica del personal frente a las exigencias de la maquinaria actual.
- Evaluación de los programas de mantenimiento preventivo.
- Impacto de la antigüedad de las máquinas en la productividad y los costos.
- Perspectivas sobre la renovación tecnológica y los beneficios esperados.

Las encuestas estructuradas, por su parte, fueron aplicadas mediante formularios físicos y digitales, con preguntas cerradas y de escala Likert, orientadas a medir percepciones sobre eficiencia, condiciones de trabajo, disponibilidad de recursos, capacitación y efectividad del mantenimiento.

Toda la información obtenida se consolidó en una base de datos que permitió realizar análisis de frecuencia, porcentaje y correlación entre las respuestas de los distintos niveles jerárquicos, contrastando la percepción técnica con los resultados estadísticos.

#### 4.5 Validación de los datos recolectados

La validación de la información recolectada se efectuó a través de un proceso de **triangulación metodológica**, consistente en comparar y cruzar los resultados obtenidos por las distintas técnicas aplicadas (documental, observación, entrevistas y encuestas). De esta forma, se garantizó que los hallazgos no dependieran de una sola fuente o punto de vista, sino que reflejaran la realidad operacional desde diferentes perspectivas.

Además, los registros técnicos fueron verificados por el **receptor del taller**, quien certificó la autenticidad de los datos de mantenimiento, costos y tiempos de intervención.

Por su parte, el **supervisor de taller y el coordinador de área** validaron los reportes de desempeño y las observaciones en campo, asegurando la correspondencia entre los datos reportados y los hechos observados.

Esta validación integral fortaleció la **fiabilidad y trazabilidad** de la información, permitiendo que los resultados del estudio sean reproducibles, auditables y plenamente defendibles en términos académicos y técnicos.

En conjunto, el proceso de recolección de datos aplicado en este proyecto proporcionó una **base empírica sólida y multidimensional**, sustentada en registros estadísticos, observación directa y experiencia profesional del personal técnico.

Gracias a esta metodología integral, fue posible elaborar un diagnóstico preciso sobre la **eficiencia operativa, los costos de mantenimiento y la disponibilidad real** de las cosechadoras, estableciendo así las bases técnicas y económicas para la **propuesta de renovación de maquinaria agrícola** en la Corporación Montelimar S.A.

#### Recolección de datos

El proceso de recolección de datos del presente estudio se apoyó en un **sistema integrado de instrumentos físicos y digitales**, diseñados para capturar, almacenar, procesar y analizar información técnica, operativa y financiera relacionada con la flota de cosechadoras agrícolas de la **Corporación Montelimar S.A.**

Estos instrumentos fueron diseñados para garantizar la **validez y trazabilidad de los datos**, bajo una estructura tecnológica compuesta por tres plataformas principales:

1. **Microsoft Excel**, utilizada como base de datos primaria y repositorio de mantenimiento.
2. **Microsoft Power BI**, como herramienta de análisis estadístico y visualización dinámica.
3. **AppSheet**, empleada para el control de horas-hombre y registro de actividades técnicas en tiempo real.

Cada instrumento cumple una función específica dentro del ciclo de recolección y análisis de información, asegurando que los resultados se fundamenten en **datos reales, verificables y estandarizados** del sistema de mantenimiento del Ingenio Montelimar.

#### 4.6 Base digital de mantenimiento en Microsoft Excel

El **registro técnico de fallas, mantenimientos y costos** se lleva a cabo en una **base de datos estructurada en Microsoft Excel**, la cual constituye el instrumento principal de recolección y sistematización de información técnica. Este archivo es mantenido por el **receptor técnico del taller** y contiene datos consolidados de los últimos tres ciclos de zafra (2022–2025), lo que permite realizar análisis históricos y comparativos.

La hoja de cálculo está organizada con **campos estandarizados** que permiten seguir el comportamiento operativo de cada máquina con precisión. Entre los campos más relevantes se incluyen:

- Código de la unidad, modelo, serie y año de fabricación.
- Fecha del evento o mantenimiento.
- Tipo de mantenimiento (preventivo, correctivo, predictivo).
- Sistema afectado (motor, hidráulico, eléctrico, transmisión, corte).
- Descripción técnica de la falla o diagnóstico inicial.
- Horas máquina acumuladas al momento de la falla.
- Tiempo de reparación (horas hombre).
- Personal técnico responsable.
- Repuestos utilizados y costo unitario.
- Costo total de materiales y mano de obra.
- Costo total del evento de mantenimiento.
- Fecha de retorno a operación.
- Observaciones del supervisor o coordinador.

Esta base digital permitió obtener indicadores clave como:



- **MTBF (Mean Time Between Failures)**, o tiempo medio entre fallas.
- **MTTR (Mean Time To Repair)**, o tiempo medio de reparación.
- **Disponibilidad operativa (%)** por unidad.
- **Costo horario (USD/h)** de mantenimiento y operación.
- **Rendimiento promedio por hora efectiva.**

Los datos registrados fueron exportados a **Microsoft Power BI** para generar paneles de control dinámicos, gráficos de tendencia y comparaciones entre las cinco cosechadoras seleccionadas. Esta integración permitió visualizar la relación entre **antigüedad, frecuencia de fallas y costos**, fortaleciendo la interpretación técnica y económica del estudio.

#### 4.7 Sistema de análisis visual en Power BI

Como complemento al registro técnico, se implementó **Microsoft Power BI** como instrumento de análisis avanzado y visualización de datos. Esta herramienta permitió transformar la información de Excel en **paneles interactivos** que facilitan la interpretación de tendencias, comparaciones y correlaciones entre variables.

Los tableros elaborados en Power BI presentan indicadores como:

- Frecuencia mensual de fallas por sistema.
- Distribución de costos de mantenimiento por categoría (repuestos, mano de obra, lubricantes).
- Comparativo de disponibilidad entre unidades.
- Evolución de horas de reparación y mantenimiento por ciclo.
- Costo acumulado por zafra y por máquina.
- Relación costo-beneficio y rendimiento por hora efectiva.

El uso de Power BI permitió optimizar el análisis estadístico, generando **visualizaciones dinámicas y dashboards automatizados** que fueron validados por el **coordinador de área y el gerente de maquinaria**. Esta herramienta también facilitó la presentación de resultados en reuniones técnicas y en la elaboración del presente informe, garantizando precisión, transparencia y trazabilidad de los datos.



#### 4.8 Registro de horas-hombre y actividades en AppSheet

Otro instrumento fundamental fue la aplicación **AppSheet**, utilizada por el personal técnico para el registro de **horas-hombre, tareas ejecutadas y control de actividades de mantenimiento**. Esta aplicación móvil, sincronizada con Google Sheets, permitió recopilar información en tiempo real desde los frentes de trabajo, mejorando la eficiencia y la exactitud de los registros operativos.

Cada técnico registró diariamente sus intervenciones mediante formularios digitales que incluían los siguientes campos:

- Nombre del técnico y número de máquina atendida.
- Tipo de mantenimiento o reparación ejecutada.
- Duración total de la intervención (horas-hombre).
- Recursos utilizados (repuestos, herramientas, lubricantes).
- Comentarios sobre dificultades técnicas o disponibilidad de piezas.
- Firma digital del responsable.

La información recopilada por AppSheet se integró posteriormente a las hojas de cálculo de Excel, permitiendo el cálculo de **costos de mano de obra** y la identificación de **tendencias de carga laboral** entre los distintos técnicos. Este sistema facilitó la trazabilidad de cada intervención, así como el análisis de eficiencia por técnico o por unidad, siendo una herramienta clave para el control operativo del taller.

#### 4.9 Formatos de control físico y observación en campo

Paralelamente a los registros digitales, se utilizaron **formatos físicos de control y fichas de observación estructuradas**, aplicados durante las jornadas de campo. Estos documentos permitieron complementar los datos numéricos con observaciones cualitativas sobre condiciones del terreno, clima, tiempos muertos y desempeño real de las cosechadoras en operación.

Los campos principales de estos formatos incluyeron:

- Fecha, hora y ubicación del frente de corte.
- Número de máquina y turno operativo.
- Tipo de falla o interrupción.
- Tiempo de atención y personal involucrado.
- Observaciones generales sobre eficiencia y condiciones ambientales.

Estas fichas fueron completadas por el **receptor técnico** y el **supervisor de campo**, y posteriormente digitalizadas para su análisis y archivo en la base central del estudio.

#### 4.10 Cuestionarios y entrevistas técnicas

Además de los registros digitales y físicos, se utilizaron **cuestionarios estructurados** y **guías de entrevistas semiestructuradas** aplicadas al personal técnico, operadores y mandos medios. El objetivo fue recopilar información cualitativa relacionada con la percepción del desempeño de las máquinas, la eficacia de los mantenimientos y la disponibilidad de recursos.

Los cuestionarios incluyeron preguntas cerradas con escala de valoración tipo Likert (de 1 a 5), mientras que las entrevistas permitieron profundizar en aspectos como:

- Principales causas de fallas recurrentes.
- Factores que afectan la disponibilidad.
- Limitaciones en la logística de repuestos.
- Capacidad técnica y nivel de capacitación del personal.
- Opiniones sobre la necesidad de renovación tecnológica.

Esta información se utilizó como complemento interpretativo, permitiendo contrastar los indicadores estadísticos con la experiencia operativa del personal.

#### 4.11 Validación de los instrumentos

Todos los instrumentos fueron **validados antes de su aplicación**, mediante un proceso de revisión técnica y prueba piloto. El **coordinador de área, el receptor técnico y el supervisor de taller** verificaron la pertinencia de los campos en los formularios, la claridad de los ítems y la correspondencia con los indicadores operativos requeridos por la Corporación Montelimar.

Posteriormente se ejecutó una **prueba piloto** en dos máquinas durante un ciclo de mantenimiento semanal, con el fin de comprobar la funcionalidad de los registros digitales (AppSheet y Excel) y la compatibilidad del flujo de datos hacia Power BI. Tras la prueba, se ajustaron algunos campos para estandarizar nomenclaturas, mejorar la consistencia de los datos y optimizar los tiempos de registro.

La validación garantizó que los instrumentos fueran **coherentes, precisos y adaptados al entorno real de la operación agrícola**, permitiendo capturar información sin interferir con las rutinas productivas de la zafra.

#### 4.12 Integración de instrumentos y flujo de información

El sistema de recolección de datos funcionó bajo un **modelo de flujo continuo**, donde cada instrumento alimentó de manera secuencial la base de información general del proyecto:

1. **AppSheet** → Captura de datos en campo (horas-hombre y actividades diarias).
2. **Excel** → Consolidación de información técnica, fallas y costos.
3. **Power BI** → Análisis estadístico y visualización de resultados.

Este flujo permitió garantizar **actualización permanente, consistencia y trazabilidad** en todas las fases del proceso de recolección, asegurando que la información utilizada en los análisis fuese confiable y verificable.

En conjunto, los instrumentos de recolección de datos implementados conformaron un sistema **moderno, digitalizado y multidimensional**, que combinó tecnología, registro técnico y observación empírica. Gracias a esta integración, la investigación logró obtener una base de datos sólida y actualizada, indispensable para fundamentar con rigor científico la **propuesta de renovación de maquinaria agrícola y optimización del sistema mecanizado de cosecha** de la Corporación Montelimar S.A.

#### 4.13 Criterios de calidad: credibilidad, confiabilidad

La calidad metodológica del presente estudio se sustenta en la aplicación rigurosa de los criterios de **credibilidad, confiabilidad y validez**, con el objetivo de garantizar que los resultados obtenidos sean precisos, verificables y representativos de la realidad operativa del sistema mecanizado de cosecha de caña de azúcar en la **Corporación Montelimar S.A.**. Estos criterios fueron considerados en todas las etapas del proceso investigativo, desde la recolección de datos hasta el análisis e interpretación de los resultados.

##### Credibilidad

La **credibilidad** hace referencia al grado en que los hallazgos reflejan con exactitud la situación real observada.

Para asegurarla, el estudio se fundamentó exclusivamente en **fuentes primarias y registros oficiales** del área de **Talleres y Servicios Agrícolas**, obtenidos directamente del **sistema digital de mantenimiento en Excel**, del **control de horas-hombre en AppSheet** y de los **paneles analíticos desarrollados en Power BI**.

Los datos se contrastaron con **observaciones directas en campo, entrevistas técnicas y encuestas estructuradas** al personal operativo y administrativo, aplicando un proceso de **triangulación de fuentes** que permitió verificar la coherencia entre la información documental, empírica y perceptiva.

Adicionalmente, la credibilidad fue reforzada mediante la **validación técnica interna**, realizada por el **coordinador de área, el receptor técnico y el gerente de maquinaria**, quienes confirmaron la correspondencia de los resultados con los indicadores de desempeño real de la flota.

La utilización de herramientas digitales con registro automático redujo los errores de transcripción y fortaleció la trazabilidad de cada dato, permitiendo demostrar que los resultados son una representación fiel de la realidad operativa del ingenio.

## Confiabilidad

La **confiabilidad** alude a la estabilidad y consistencia de los resultados obtenidos, es decir, la posibilidad de que estos puedan ser reproducidos bajo condiciones similares.

En este estudio, la confiabilidad se garantizó mediante **procedimientos estandarizados de captura y análisis de información**, implementados de forma uniforme en todos los instrumentos utilizados.

El sistema de registro en **Microsoft Excel** utiliza plantillas fijas con campos normalizados (fecha, tipo de falla, tiempo de reparación, costos y personal), lo que evita variaciones en la forma de ingreso de datos.

El control de **horas-hombre mediante AppSheet** se realiza en tiempo real, generando registros automáticos sincronizados con hojas de cálculo que reducen el margen de error humano.

Por su parte, **Power BI** consolida estos datos para su análisis y verificación, asegurando la integridad entre las fuentes y la consistencia de las series históricas.

La confiabilidad también se fortaleció mediante **revisiones cruzadas** entre los distintos sistemas. Cada registro fue comparado con la bitácora de mantenimiento físico y con los reportes del supervisor, verificando que los datos coincidieran en tiempo, costo y tipo de intervención.

Este proceso permitió mantener una base de información coherente y repetible, garantizando que otros analistas puedan replicar el estudio y obtener resultados equivalentes.

## Validez

La **validez** se refiere al grado en que los instrumentos y procedimientos realmente miden los aspectos que se pretende analizar.

En el presente estudio, la validez se abordó desde tres enfoques: **validez de contenido, validez de criterio y validez constructiva.**

- **Validez de contenido:** todos los instrumentos (fichas de observación, formatos de mantenimiento, registros Excel, formularios AppSheet y encuestas) fueron diseñados con la colaboración del personal técnico del ingenio, asegurando que los campos y variables incluidos respondieran a los indicadores reales de desempeño de la maquinaria.
- **Validez de criterio:** los resultados obtenidos fueron comparados con estándares de la industria azucarera y con parámetros de fabricantes (John Deere), verificando que los indicadores calculados (MTBF, MTTR, disponibilidad, costos) mantuvieran coherencia técnica con los valores de referencia.
- **Validez constructiva:** se comprobó que las variables analizadas (antigüedad, frecuencia de fallas, costos y horas efectivas) reflejan de manera directa los conceptos teóricos asociados a **eficiencia, confiabilidad operativa y productividad**, asegurando que las mediciones realizadas representan los constructos planteados en los objetivos de investigación.

La utilización de herramientas tecnológicas de captura y análisis de datos, junto con la revisión técnica de expertos, permitió garantizar una **validez interna y externa sólida**, asegurando que los resultados puedan ser generalizados a la totalidad del sistema mecanizado del Ingenio Montelimar.

---

En conjunto, la aplicación de los criterios de **credibilidad, confiabilidad y validez** permitió desarrollar una investigación **técnicamente rigurosa, metodológicamente sólida y empíricamente comprobable**, sustentada en datos reales y verificables.

Gracias a ello, los hallazgos y conclusiones del estudio poseen un alto nivel de exactitud, objetividad y relevancia práctica para la **toma de decisiones estratégicas sobre la renovación tecnológica de la flota de cosechadoras agrícolas** en la **Corporación Montelimar S.A.**

## 5. Operacionalización de variables

La operacionalización de variables del presente proyecto se orienta al análisis técnico, económico y operativo de la flota de cosechadoras agrícolas de la **Corporación Montelimar S.A.**, con el propósito de determinar el impacto de la antigüedad de los equipos y su nivel de mantenimiento en la eficiencia y productividad de la cosecha mecanizada.

El sistema de variables se estructura con base en la información registrada en el **sistema digital de mantenimiento (Excel)**, el **control de horas-hombre en AppSheet**, y los **tableros de análisis de Power BI**, los cuales consolidan los indicadores más relevantes sobre **fallas, tiempos de reparación, costos y disponibilidad operativa**.

A través de estos registros fue posible medir, comparar y correlacionar el desempeño de las **cinco máquinas seleccionadas** frente al total de la flota, validando así la necesidad de renovación tecnológica.

Variable independiente: Obsolescencia de la maquinaria agrícola

Esta variable se asocia directamente al estado físico, mecánico y tecnológico de las cosechadoras más antiguas, las cuales presentan mayor desgaste y menor rendimiento operativo.

En la Corporación Montelimar, las cinco unidades seleccionadas superan los **cinco años de operación continua**, registrando los **índices más altos de fallas, tiempos muertos y costos de reparación** dentro del taller central.

Dimensión	Indicadores aplicados al proyecto	Técnica de medición	Instrumento	Unidad	Fuente
Antigüedad del equipo	Años de servicio desde adquisición	Revisión documental y registros Excel	Base técnica de maquinaria	Años	Registros de activos
Deterioro técnico	Nº de fallas promedio por zafra y sistema	Análisis estadístico en Power BI	Base de fallas Excel	Nº de fallas	Registros del taller
Costo acumulado	Total de gastos en repuestos y mano de obra por unidad	Consolidación contable	Reportes Excel / Power BI	USD	Departamento financiero
Disponibilidad operativa	% de tiempo activo real por máquina	Cálculo MTBF y MTTR	Dashboard Power BI	%	Registros Excel

Tabla 1: Obsolescencia de maquinaria agrícola

### Variable dependiente: Eficiencia operativa de la cosecha mecanizada

Representa el nivel de desempeño de las máquinas durante las jornadas de zafra. En Montelimar, esta variable se calcula a partir de los registros de **horas efectivas trabajadas, tiempos muertos, toneladas de caña cosechadas y rendimiento por hora**, todos procesados en Power BI a partir de la base técnica consolidada.

Dimensión	Indicadores aplicados al proyecto	Técnica de medición	Instrumento	Unidad	Fuente
Disponibilidad técnica	% de tiempo operativo por jornada	(Horas activas / horas totales) × 100	Excel / Power BI	%	Registros de mantenimiento
Tiempo medio entre fallas	Promedio de horas efectivas entre paradas	Cálculo estadístico	Excel	Horas	Bitácoras técnicas
Tiempo medio de reparación	Promedio de tiempo en reparación por evento	Registro en AppSheet / Excel	Horas-hombre	Horas	Receptor técnico
Rendimiento operativo	Toneladas de caña cosechadas por hora efectiva	Análisis de zafra	Power BI	TM/h	Área agrícola

Tabla 2: Eficiencia Operativa de la cosecha mecanizada

### Variable interviniente: Gestión del mantenimiento

Corresponde a la planificación y ejecución de los programas de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo que ejecuta el área de Talleres y Servicios Agrícolas.

Su eficiencia influye directamente en la disponibilidad de las máquinas y en la reducción de costos operativos.

En Montelimar, los mantenimientos son programados semanalmente por el **supervisor del taller** y registrados digitalmente por el **receptor técnico** mediante **AppSheet y Excel**, generando trazabilidad total por máquina, técnico y tipo de trabajo.

Dimensión	Indicadores aplicados al proyecto	Técnica de medición	Instrumento	Unidad	Fuente
Cumplimiento del plan preventivo	% de mantenimientos realizados conforme al cronograma	Comparación programado vs ejecutado	Excel / CMMS	%	Supervisor de taller
Disponibilidad de repuestos	Cumplimiento en abastecimiento de piezas críticas	Análisis de registros	Excel	%	Logística de almacén
Capacitación técnica	Nº de capacitaciones recibidas por técnico en zafra	Revisión de registros de RRHH	Cuestionario / Reporte	Nº	RRHH Corporativo
Horas-hombre invertidas	Total de tiempo técnico por máquina	Registro digital diario	AppSheet	Horas	Reporte del receptor
Tiempos de respuesta	Promedio de minutos desde reporte hasta atención	Cálculo promedio	Excel / Power BI	Horas	Supervisión de taller

Tabla 3: Gestión del mantenimiento

## Variable resultado: Productividad agrícola

La productividad refleja la relación entre las toneladas cosechadas y los recursos técnicos y humanos empleados. En la operación actual del Ingenio Montelimar, la productividad se ha visto afectada por la **disminución de la disponibilidad de maquinaria (72.47%)** y el aumento de los costos de mantenimiento, lo que motivó la formulación del presente proyecto de renovación.

Dimensión	Indicadores aplicados al proyecto	Técnica de medición	Instrumento	Unidad	Fuente
Rendimiento horario	Toneladas de caña cosechada por hora efectiva	Cálculo directo (Tn / hora)	Excel / Power BI	Tn/h	Reportes agrícolas
Costo operativo por tonelada	Costos totales / toneladas cosechadas	Análisis económico	Excel financiero	USD/Tn	Contabilidad agrícola
Relación costo-beneficio	Ahorro estimado tras renovación vs inversión	Evaluación financiera	Power BI / Excel	%	Gerencia de maquinaria
Productividad global	Relación entre producción y recursos técnicos	Análisis integrado	Excel / Power BI	Índice	Área agrícola

Tabla 4: Productividad agrícola

## Modelo aplicado de relación entre variables

El modelo de operacionalización adoptado para la Corporación Montelimar permite entender las relaciones directas entre las variables principales:

- **Obsolescencia de maquinaria** → impacta en la **eficiencia operativa** por medio de la reducción del tiempo efectivo de trabajo, aumento de fallas y mayores costos.
- **Gestión del mantenimiento** → actúa como variable moduladora, que puede atenuar o agravar los efectos de la obsolescencia dependiendo de la calidad de la planificación, disponibilidad de repuestos y capacitación técnica.
- **Eficiencia operativa y mantenimiento** → determinan finalmente la **productividad agrícola**, expresada en toneladas por hora y costo por tonelada.

El uso de **Excel**, **AppSheet** y **Power BI** permitió integrar los datos técnicos, operativos y financieros en un solo entorno de análisis, facilitando la interpretación de resultados y la generación de indicadores dinámicos que sustentan la **propuesta de renovación de cinco cosechadoras agrícolas** como estrategia para recuperar la eficiencia y competitividad del Ingenio Montelimar.

## 6. Análisis de datos

El análisis de datos del presente estudio se orientó a evaluar el desempeño técnico, operativo y económico de la flota de cosechadoras agrícolas del área de **Talleres y Servicios Agrícolas de la Corporación Montelimar S.A.**, con el propósito de determinar el impacto de la antigüedad de los equipos en la disponibilidad, los costos de mantenimiento y la productividad de la cosecha mecanizada.

La información se procesó a partir de los registros reales de mantenimiento, hojas de control de horas-hombre, consumo de combustible, costos de reparación y rendimiento operativo, correspondientes a las **cinco máquinas seleccionadas** como objeto de análisis por su alta frecuencia de fallas, baja disponibilidad y mayores costos de operación.

Los datos fueron consolidados y depurados en **Microsoft Excel**, complementados con registros de campo capturados en **AppSheet** y posteriormente analizados mediante paneles dinámicos de **Power BI**, lo que permitió integrar los aspectos técnicos, económicos y humanos en un mismo entorno analítico.

### 6.1. Preparación y depuración de datos

Se integraron más de **4,000 registros individuales** de fallas, mantenimientos y horas de operación correspondientes a tres zafas consecutivas (2022–2025). Durante la fase de depuración se verificó la coherencia de los datos, eliminando duplicados y ajustando valores extremos que no correspondían con los parámetros técnicos.

Los registros fueron clasificados por máquina, tipo de sistema afectado (motor, hidráulico, corte, eléctrico, transmisión), tipo de mantenimiento (preventivo o correctivo) y tiempo total de intervención. Esta depuración permitió obtener una base limpia y estandarizada, indispensable para el cálculo de indicadores técnicos y económicos.

### 6.2. Cálculo de indicadores técnicos y operativos

A partir de la base consolidada, se procedió a calcular los indicadores fundamentales de desempeño de la flota. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla.

CODIGO INV	DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO	AÑO
77001	Cosechadora de caña	John deere	3520T	2016
77002	Cosechadora de caña	John deere	3520T	2016
77003	Cosechadora de caña	John deere	3520T	2016
77004	Cosechadora de caña	John deere	3520T	2016
77005	Cosechadora de caña	John deere	3522T	2017

Tabla 5: Datos técnicos de Cosechadoras por renovar

## Comportamiento de los costos de mantenimiento



Uno de los hallazgos más relevantes fue el incremento sostenido del **costo horario operativo**, el cual promedia **68.81 USD/h** para las máquinas más antiguas. Este valor incluye el costo de repuestos, lubricantes, combustible y horas-hombre del personal técnico.

Equipos	Reparacion	Operación	Totales	Horas	\$ Hora
77001	120.306,31	37.147	157.454	2200	71,57
77002	110.205,00	34.958	145.163	2200	65,98
77003	115.358,00	33.192	148.550	2200	67,52
77004	101.583,88	35.247	136.831	2200	62,20
77005	131.903,61	36.967	168.871	2200	76,76

Tabla 6: Costos reales de unidades para renovar

## CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL PROYECTO

### 1. Estudio de Mercado:

El presente estudio de mercado tiene como propósito analizar las condiciones actuales y proyectadas del entorno productivo en el que opera la **Corporación Montelimar S.A.**, así como identificar la viabilidad y pertinencia de la **renovación tecnológica de maquinaria agrícola** destinada al corte mecanizado de caña de azúcar.

Este análisis considera tanto la **demanda interna de servicios de cosecha** dentro del propio ingenio, como la **competencia y tendencias del mercado azucarero nacional**, en el cual la productividad y eficiencia se han convertido en factores clave de competitividad.

#### 1.1. Contexto del mercado azucarero nacional

La industria azucarera nicaragüense es uno de los sectores más consolidados del país, generando empleo directo e indirecto para más de 25,000 personas y contribuyendo significativamente a las exportaciones agroindustriales. Actualmente, Nicaragua cuenta con **cuatro ingenios principales**: Montelimar, San Antonio, Monte Rosa y Benagalón, los cuales operan bajo la coordinación de la **Comisión Nacional de Productores de Azúcar (CNPA)**. En este contexto, la **Corporación Montelimar S.A.** representa uno de los actores más relevantes de la región del Pacífico Sur, con una superficie de cultivo de caña que supera las **7,000 hectáreas** y una capacidad de molienda superior a las **300,000 toneladas por zafra**.

Sin embargo, el sector enfrenta un entorno altamente competitivo, donde las empresas con mayor nivel de mecanización logran reducir costos por tonelada procesada y mejorar la rentabilidad operativa. La adopción de maquinaria moderna y sistemas inteligentes de mantenimiento se ha convertido en una necesidad para mantener márgenes de beneficio sostenibles frente al incremento en los costos de combustibles, repuestos y mano de obra.

#### 1.2. Análisis de la demanda

La **demanda del proyecto** se centra en la necesidad interna del ingenio de disponer de equipos de cosecha confiables, eficientes y con disponibilidad mínima del 85 %, indicador establecido por la gerencia de operaciones como estándar de productividad.

Durante las últimas tres zafras, el promedio de disponibilidad de la flota actual ha sido de **72.47 %**, lo que ha generado **pérdidas estimadas de 735 toneladas diarias de caña sin cosechar**, afectando la continuidad de molienda y la eficiencia energética de la planta.

El incremento de la demanda de corte mecanizado dentro del mismo ingenio, junto con la reducción en la disponibilidad de las unidades actuales, genera un **déficit operativo** que justifica plenamente la renovación de maquinaria. El área de **Talleres y Servicios Agrícolas** actúa como un proveedor interno de servicios de mantenimiento, abastecimiento y operación de las cosechadoras, y su capacidad de respuesta se ve limitada por el envejecimiento de la flota.

Con la renovación propuesta, se proyecta un **aumento del 17 % en la capacidad de respuesta operativa**, lo que permitirá cubrir la totalidad de las áreas de cosecha asignadas sin depender de alquileres externos ni extender la duración de la zafra.

### 1.3. Análisis de la oferta

La **oferta de maquinaria agrícola especializada para el sector azucarero** en Nicaragua es limitada, con presencia de tres marcas principales: **John Deere, Case IH y Santal**. En el caso de la Corporación Montelimar, el parque actual está compuesto en su mayoría por **unidades John Deere serie 3520 y 3522**, cuya tecnología data de hace más de siete años y ha alcanzado su límite de vida útil económica.

El distribuidor autorizado de John Deere en Nicaragua ofrece soporte técnico, repuestos y financiamiento directo, lo cual facilita la adquisición e integración de nuevos equipos sin incrementar los costos logísticos. La nueva generación de cosechadoras **John Deere 3525 High Performance** incorpora mejoras en eficiencia hidráulica, consumo de combustible y monitoreo de fallas en tiempo real, características que se alinean directamente con los requerimientos del proyecto.

La oferta local de servicios de mantenimiento de alta especialización es escasa; por tanto, **la renovación de maquinaria** no solo permitirá mejorar la productividad sino también **fortalecer el taller interno**, disminuyendo la dependencia de servicios externos y asegurando la sostenibilidad técnica a largo plazo.

### 1.4. Público objetivo y segmentación del mercado

El **público objetivo directo** del proyecto lo constituye la **propia Corporación Montelimar**, a través de su **Gerencia de Maquinaria Agrícola y el área de Talleres y Servicios**, responsables de garantizar la disponibilidad de los equipos de cosecha. De forma indirecta, los beneficiarios incluyen al **personal técnico-operativo**, al **área agrícola**, al **departamento de molienda**, y a los **proveedores de caña**, quienes dependen de la regularidad del corte para mantener la estabilidad en la entrega de materia prima.

La segmentación del mercado se define en función de tres dimensiones:

1. **Geográfica:** Región Pacífico Sur de Nicaragua, específicamente el corredor agrícola entre San Rafael del Sur y Ticuantepe.
2. **Técnica:** Ingenios con operaciones mecanizadas en corte, carga y transporte de caña.
3. **Económica:** Empresas con estructuras de costos centradas en eficiencia energética y reducción de tiempos improductivos.

En esta estructura, Montelimar se posiciona como un **productor de escala media con enfoque de sostenibilidad**, lo que le otorga un perfil competitivo favorable frente a ingenios con mayores costos de operación.

### 1.5. Tendencias del mercado y proyección de crecimiento

La tendencia del mercado agroindustrial latinoamericano apunta hacia una **renovación acelerada de la flota mecanizada**, impulsada por la automatización, la digitalización de datos de mantenimiento y el monitoreo en tiempo real mediante telemetría.

De acuerdo con estudios de la **FAO (2024)** y el **Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 2023)**, la modernización de maquinaria agrícola genera incrementos del **25 % al 30 % en productividad**, reducción del **15 % en costos operativos**, y mejoras en la seguridad laboral del personal técnico.

En Nicaragua, la CNPA ha promovido programas de eficiencia productiva que incentivan la adopción de tecnología de precisión, con el objetivo de aumentar el rendimiento por hectárea y reducir las emisiones asociadas al consumo de diésel. El proyecto de renovación de maquinaria del Ingenio Montelimar se enmarca en estas tendencias, convirtiéndose en una respuesta directa a las **exigencias de sostenibilidad y competitividad** del mercado azucarero nacional.

### 1.6. Conclusiones del estudio de mercado

Del análisis efectuado se concluye que existe una **demanda insatisfecha interna** dentro del Ingenio Montelimar debido al deterioro de la flota actual de cosechadoras, lo que limita la capacidad de cumplir con la meta operativa de molienda continua. La oferta nacional de maquinaria es reducida pero concentrada en marcas que brindan soporte técnico completo y garantías de operación, lo cual facilita la implementación del proyecto sin riesgo logístico.

El mercado azucarero nicaragüense se encuentra en una fase de **reconversión tecnológica**, y las empresas que adopten equipos de nueva generación obtendrán ventajas competitivas sostenibles en costos, rendimiento y sostenibilidad ambiental.

Por tanto, el **proyecto de renovación de maquinaria agrícola** de la **Corporación Montelimar S.A.** se considera **totalmente viable desde el punto de vista de mercado**, al responder a una necesidad real, medible y alineada con las tendencias del sector.

## 2. Estudio Técnico (si aplica):

### Especificaciones técnicas del equipo propuesto

**Cosechadora de caña: John Deere Modelo CH-570**

**Motor: John Deere Powertech 6 cilindros – 9.0 L – 337 HP @ 2,100 rpm**

Sistema o componente	Especificación técnica	Requerimiento operativo cubierto	Beneficio técnico esperado
Motorización	Motor diésel Powertech 9.0 L, 337 HP	Alta potencia y tracción en terrenos variables	Mayor rendimiento por hora y estabilidad térmica
Transmisión	Hidrostática con velocidad variable (adelante y atrás)	Control suave y adaptable	Menor desgaste mecánico y ahorro de combustible
Dirección y frenos	Sistema hidráulico e hidrostático	Seguridad y maniobrabilidad	Reducción de esfuerzo del operador
Cabina	Presurizada y blindada, aislada térmica y acústicamente	Ergonomía y seguridad en jornadas largas	Reducción de fatiga y errores humanos
Sistema eléctrico	12 voltios	Compatibilidad con repuestos y herramientas locales	Mantenimiento simple, sin adaptaciones
Cortador base reversible	Discos gemelos de 24" lisos, ajuste de ángulo y sistema antiimpactos	Corte preciso y resistente a impactos	Menos roturas, menor tiempo de parada
Control de altura y flotación	Sistema hidráulico desde cabina	Corte uniforme sin dañar terreno	Mejora la calidad de la caña y reduce impurezas
Despuntador y rodillo pateador	Tres paletas abiertas	Separación de puntas y limpieza de material	Corte limpio y alimentación continua
Sinfines y cuchillas laterales	Cuchillas ajustables e hidráulicas	Corte eficiente en bordes y malezas	Disminuye atascos y pérdida de material
Rodillos tumbadores	Hidráulicos desde cabina	Adaptación al terreno	Mayor agilidad en operación y menos atascos
Trozador	8 cuchillas reversibles, ajuste de tamaño hidráulico	Control de longitud del trozo	Uniformidad para molienda y transporte
Elevador	Alta capacidad, reversible, extensión 24", pedal de control	Descarga rápida y controlada	Optimiza flujo de camiones y reduce tiempos muertos
Extractores	Primario y secundario, 4 aspas, velocidad variable	Separación de impurezas	Menor contaminación de caña y menos pérdida
Depósito de combustible	150 galones	Mayor autonomía	Menos interrupciones para abastecimiento
Manual y herramientas	Kit completo de repuestos y herramientas	Facilita mantenimiento inicial	Reducción de tiempos de aprendizaje técnico

Tabla 7: Especificaciones técnicas de equipo propuesto

### Metas internas de desempeño (post-renovación):

**Disponibilidad:** 85–90 % (meta de control).

**MTBF:** 35–40 h entre fallas (objetivo de confiabilidad).

**MTTR:** 2.0–2.5 h por evento.

**Productividad:** +8–12 % Tn/h vs flota actual.

**Costo horario:** –25% –31 % al año 1.

### 3. Estudio Ambiental:

#### Cumplimiento normativo y regulaciones aplicables

El proyecto se ejecutará en estricto cumplimiento con la **Ley No. 217: Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales de Nicaragua**, su reglamento y las disposiciones del **Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA)**, relativas a manejo de residuos peligrosos y emisiones atmosféricas.

Asimismo, la **Corporación Montelimar S.A.** mantiene certificaciones ambientales y protocolos internos de sostenibilidad que incluyen:

- **Gestión de residuos peligrosos y reciclables.**
- **Plan de emergencia ante derrames.**
- **Control de emisiones de maquinaria móvil.**
- **Programa de capacitación ambiental al personal técnico.**

La sustitución de maquinaria no implica ampliación de infraestructura ni afectación directa a ecosistemas, por lo que **no se requiere un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) de categoría alta**, únicamente la **actualización de la Ficha Ambiental del Taller** ante MARENA.

Etapa del proyecto	Aspecto ambiental	Impacto potencial	Tipo de impacto	Medida de mitigación
Adquisición	Transporte de equipos desde el distribuidor	Emisiones de CO <sub>2</sub> por transporte	Temporal / indirecto	Coordinación logística para rutas cortas y cargas completas
Operación	Combustión de diésel	Emisión de gases (CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> )	Directo / recurrente	Uso de motores Tier 3 con eficiencia optimizada y mantenimiento preventivo
Mantenimiento	Cambio de aceites e hidráulicos	Generación de residuos peligrosos	Directo / controlable	Recolección y almacenamiento en bidones etiquetados, disposición por gestor autorizado
Mantenimiento	Filtros y repuestos usados	Desechos sólidos industriales	Directo / controlable	Clasificación, compactación y entrega a reciclador certificado
Taller	Lavado de componentes	Vertidos con trazas de grasa y detergente	Directo / puntual	Trampa de grasa y control de efluentes antes de descarga
Fin de vida útil	Chatarra metálica de equipos antiguos	Generación de residuos valorizables	Positivo / aprovechable	Venta y reciclaje con proveedores certificados

Tabla 8: Plan Ambiental del proyecto



#### 4. Estudio Financiero:

El estudio financiero del proyecto de renovación de maquinaria agrícola para la **Corporación Montelimar S.A.** tiene como propósito evaluar la **viabilidad económica y rentabilidad de la inversión** en la sustitución de cinco cosechadoras de caña con tecnología obsoleta por equipos modernos **John Deere CH-570**

Este análisis considera tanto los **costos iniciales de adquisición, instalación y capacitación técnica**, como los **beneficios económicos derivados de la reducción de costos operativos, ahorro en mantenimiento, eficiencia en consumo de combustible y aumento en la productividad por tonelada de caña cosechada.**

A través de indicadores financieros como el **Valor Presente Neto (VPN)**, la **Tasa Interna de Retorno (TIR)** y la **Relación Beneficio-Costo (RBC)**, se determinará el grado de rentabilidad y la recuperación esperada de la inversión bajo distintos escenarios de financiamiento. Asimismo, se integrarán variables de riesgo vinculadas a la volatilidad del precio del combustible, fluctuaciones en la producción anual de caña y costos de repuestos importados, de modo que el estudio proporcione una **evaluación integral, realista y sustentada** del impacto económico del proyecto en el mediano y largo plazo.

DATOS	
Inversión	<b>2,284,000</b>
Valor de rescate	<b>225,000</b>
Vida útil (años)	<b>10</b>
Ingresos	<b>1,072,376</b>
Costos anuales	<b>404,924</b>
Préstamo	-
Tasa de interés (anual), pre	<b>10%</b>
Plazo del préstamo (años)	<b>10</b>
TMAR	<b>15%</b>
IR	<b>30%</b>

Tabla 9: Resumen de análisis de inversión



## Evaluación

Desde el inicio del análisis del proyecto, establecimos que **cualquier alternativa distinta a la renovación completa de las cinco cosechadoras es técnica, operativa y financieramente inviable**, dado que **ninguna de ellas cumple con los requisitos mínimos para garantizar la continuidad del proceso de cosecha mecanizada**.

En primer lugar, en Nicaragua **no existe mercado formal, informal ni eventual para el alquiler de cosechadoras de caña de alto rendimiento**. Esto significa que, ante una falla mayor, la empresa no tiene posibilidad alguna de suplir temporalmente la capacidad operativa perdida. La operación agrícola depende exclusivamente de su propia flota; por tanto, cualquier alternativa basada en “maquinaria de respaldo”, “alquiler estacional” o “contratación externa” es inexistente. Bajo este escenario, sostener la operación con equipos obsoletos y sin reemplazo disponible constituye un riesgo operativo crítico.

En segundo lugar, las políticas corporativas establecen que **toda maquinaria declarada para renovación queda inactiva de manera definitiva**.

Aunque estas máquinas podrían poseer un valor de rescate teórico, **su valor en libros es igual a cero**, y la empresa prioriza el desarme de los equipos para recuperar repuestos. Dichos repuestos no generan beneficio económico alguno; son almacenados con costo cero y utilizados únicamente como soporte temporal cuando un repuesto nuevo aún no ha llegado al país. En términos contables y financieros, esto elimina por completo el argumento de “venta”, “recuperación” o “aprovechamiento económico” de la maquinaria usada.

Finalmente, descartamos por completo el escenario de operar sin maquinaria nueva, debido a que **el corte manual es actualmente inviable en el país**. No existe disponibilidad de mano de obra suficiente ni técnicamente capacitada.

Con base en estos elementos, afirmamos de manera concluyente que **ninguna alternativa distinta a la renovación es aplicable, sostenible, segura o financieramente justificable**. La renovación de maquinaria no es una opción entre varias: es la **única solución real y viable** para garantizar la continuidad operativa de la cosecha, asegurar el abastecimiento a la planta de molienda y sostener la competitividad de la Corporación Montelimar S.A. en el sector azucarero nacional.



Tabla 10: Análisis financiero

<b>Con Proyecto</b>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	\$ 1,136,719	\$ 1,136,719	\$ 1,136,719	\$ 1,136,719	\$ 1,136,719	\$ 1,136,719	\$ 1,136,719	\$ 1,136,719	\$ 1,136,719	\$ 1,136,719	\$ 1,136,719
Costos	\$ 404,924	\$ 425,170	\$ 446,429	\$ 468,750	\$ 492,188	\$ 516,797	\$ 542,637	\$ 569,769	\$ 598,257	\$ 628,170	\$ 628,170
Depreciación	\$ 205,900	\$ 205,900	\$ 205,900	\$ 205,900	\$ 205,900	\$ 205,900	\$ 205,900	\$ 205,900	\$ 205,900	\$ 205,900	\$ 205,900
Util	\$ 525,895	\$ 505,648	\$ 484,390	\$ 462,068	\$ 438,631	\$ 414,022	\$ 388,182	\$ 361,050	\$ 332,561	\$ 302,649	\$ 302,649
IR 30%	\$ 157,768	\$ 151,695	\$ 145,317	\$ 138,621	\$ 131,589	\$ 124,206	\$ 116,455	\$ 108,315	\$ 99,768	\$ 90,795	\$ 90,795
Utilidad	\$ 368,126	\$ 353,954	\$ 339,073	\$ 323,448	\$ 307,042	\$ 289,815	\$ 271,727	\$ 252,735	\$ 232,793	\$ 211,854	\$ 211,854
Depreciación	\$ 205,900	\$ 205,900	\$ 205,900	\$ 205,900	\$ 205,900	\$ 205,900	\$ 205,900	\$ 205,900	\$ 205,900	\$ 205,900	\$ 205,900
Valor de rescate											\$ 225,000
Inversión	\$ 2,284,000										
<b>Fliujo</b>	<b>\$ -2,284,000</b>	<b>\$ 574,026</b>	<b>\$ 559,854</b>	<b>\$ 544,973</b>	<b>\$ 529,348</b>	<b>\$ 512,942</b>	<b>\$ 495,715</b>	<b>\$ 477,627</b>	<b>\$ 458,635</b>	<b>\$ 438,693</b>	<b>\$ 642,754</b>
<b>Sin proyecto</b>	0 \$	1 \$	2 \$	3 \$	4 \$	5 \$	6 \$	7 \$	8 \$	9 \$	10
Ingresos	\$ 1,072,376	\$ 1,072,376	\$ 1,072,376	\$ 1,072,376	\$ 1,072,376	\$ 1,072,376	\$ 1,072,376	\$ 1,072,376	\$ 1,072,376	\$ 1,072,376	\$ 1,072,376
Costos	\$ 526,401	\$ 605,361	\$ 696,166	\$ 800,590	\$ 920,679	\$ 1,058,781	\$ 1,217,598	\$ 1,400,238	\$ 1,610,273	\$ 1,851,814	\$ 1,851,814
Depreciación	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Util	\$ 545,975	\$ 467,015	\$ 376,210	\$ 271,786	\$ 151,697	\$ 13,595	\$ -145,222	\$ -327,862	\$ -537,897	\$ -779,438	\$ -779,438
IR 30%	\$ 163,792	\$ 140,104	\$ 112,863	\$ 81,536	\$ 45,509	\$ 4,079	\$ -43,567	\$ -98,358	\$ -161,369	\$ -233,831	\$ -233,831
Utilidad	\$ 382,182	\$ 326,910	\$ 263,347	\$ 190,250	\$ 106,188	\$ 9,517	\$ -101,655	\$ -229,503	\$ -376,528	\$ -545,607	\$ -545,607
Depreciación	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Valor de rescate											\$ -
Inversión											
<b>Fliujo</b>	<b>0 \$</b>	<b>\$ 382,182</b>	<b>\$ 326,910</b>	<b>\$ 263,347</b>	<b>\$ 190,250</b>	<b>\$ 106,188</b>	<b>\$ 9,517</b>	<b>\$ -101,655</b>	<b>\$ -229,503</b>	<b>\$ -376,528</b>	<b>\$ -545,607</b>
<b>Con P vs Sin P</b>	<b>\$ -2,284,000</b>	<b>\$ 191,844</b>	<b>\$ 232,944</b>	<b>\$ 281,626</b>	<b>\$ 339,098</b>	<b>\$ 406,754</b>	<b>\$ 486,198</b>	<b>\$ 579,283</b>	<b>\$ 688,138</b>	<b>\$ 815,221</b>	<b>\$ 1,188,361</b>
TIR	13%										
VAN	\$ 475,308										



Tabla 11: VPN (B-C)

Periodo	0 \$	1 \$	2 \$	3 \$	4 \$	5 \$	6 \$	7 \$	8 \$	9 \$	10
Beneficios	\$ 121,477	\$ 180,191	\$ 249,737	\$ 331,840	\$ 428,491	\$ 541,984	\$ 674,961	\$ 830,469	\$ 1,012,016	\$ 1,223,644	
Costos	\$ -2,284,000	\$ 1,015,241	\$ 956,527	\$ 886,982	\$ 804,878	\$ 708,227	\$ 594,735	\$ 461,757	\$ 306,250	\$ 124,702	\$ -86,926

TIR	34%
VAN	\$1,820,271
RBC	1.60

## Conclusiones y Recomendaciones del Estudio Financiero

Los resultados del análisis financiero demuestran que el **proyecto de renovación de maquinaria agrícola para la Corporación Montelimar S.A.** es **económicamente viable y financieramente rentable**. El **Valor Presente Neto (VPN)** obtenido es **positivo**, lo que indica que los flujos de beneficios futuros descontados superan el monto de la inversión inicial.

La **Tasa Interna de Retorno (TIR)** supera la **tasa de retorno mixta** o de costo de oportunidad del capital, confirmando la capacidad del proyecto para generar rendimientos superiores al costo de financiamiento. La **Relación Beneficio–Costo (RBC)** mayor a **1.0** respalda que cada dólar invertido generará un valor adicional neto positivo, reafirmando la conveniencia económica de la inversión.

Desde un enfoque operativo, los beneficios financieros del proyecto se reflejan en la **reducción de costos de mantenimiento en un 31 %**, la **optimización del consumo de combustible**, la **disminución de horas improductivas** y la **mejora en la eficiencia de cosecha por unidad operativa**, lo cual impacta directamente en la productividad y competitividad del ingenio.

### Recomendaciones

1. **Consolidar compras estratégicas y gestión de proveedores:**  
Se recomienda implementar **acuerdos de compra consolidada** con proveedores de repuestos y consumibles, priorizando aquellos que garanticen calidad certificada, soporte postventa y precios competitivos. Esto permitirá disminuir costos unitarios y asegurar disponibilidad de insumos críticos durante la zafra.
2. **Evaluar alternativas de financiamiento mixto:**  
Se sugiere mantener una estructura de financiamiento que combine recursos propios con crédito institucional, de manera que se minimice el riesgo financiero y se maximice el flujo de caja operativo. El acceso a financiamiento con tasas preferenciales o acuerdos con fabricantes puede mejorar los indicadores financieros del proyecto.

3. **Optimizar el uso de mano de obra técnica:**  
Implementar un sistema de **gestión eficiente de horas hombre** mediante el uso de **formatos digitales y control en AppSheet**, con el fin de reducir tiempos ociosos, mejorar la planificación del mantenimiento y garantizar la productividad del personal técnico.
4. **Realizar análisis de sensibilidad anual:**  
Dado que el precio del diésel y de los repuestos importados son variables de impacto significativo, se recomienda ejecutar **análisis de sensibilidad** al menos una vez por año para ajustar los costos proyectados y mantener la precisión en los indicadores de rentabilidad (VPN, TIR y RBC).
5. **Consolidar la adquisición de repuestos directamente con los fabricantes:**  
Priorizar la compra directa con el **distribuidor oficial John Deere en Nicaragua**, evitando intermediarios que incrementen el costo final de los insumos. Esto garantizará la autenticidad de las piezas, el cumplimiento de garantías y una reducción promedio del 10 % en costos de mantenimiento.
6. **Establecer un fondo de reinversión técnica:**  
Crear una reserva destinada a la **renovación progresiva de equipos** y a la **actualización tecnológica**, asegurando la sostenibilidad del proyecto a largo plazo sin depender exclusivamente de nuevos créditos o financiamientos externos.

Con base en los resultados obtenidos, el proyecto **cumple con los criterios de viabilidad financiera** establecidos para inversiones de capital en el sector agroindustrial.

La sustitución de la flota de cosechadoras obsoletas por equipos **John Deere CH-570** representa una **decisión estratégica y rentable** que fortalece la posición competitiva de la Corporación Montelimar, mejora la productividad, reduce los costos estructurales y contribuye al desarrollo sostenible del negocio agrícola.

## CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES HALLAZGOS

En este capítulo presentamos y analizamos los principales resultados obtenidos durante el desarrollo del **proyecto de renovación de maquinaria agrícola para el corte mecanizado de caña en la Corporación Montelimar S.A.**, con el propósito de evaluar su impacto técnico, operativo, económico, ambiental y administrativo dentro del proceso productivo. Nuestro análisis busca validar los objetivos planteados, demostrando la **viabilidad integral y rentabilidad del proyecto** como una estrategia de modernización tecnológica y sostenibilidad para el área agrícola del ingenio.

Los resultados expuestos fueron obtenidos a partir de fuentes primarias y secundarias, incluyendo los registros técnicos del **Sistema de Gestión del Mantenimiento (SGM)**, datos financieros procesados en **Excel y Power BI**, y formatos digitales de control de horas hombre elaborados en **AppSheet**. Además, complementamos esta información con **entrevistas semiestructuradas y observaciones directas** al personal técnico, supervisores, operadores, receptor de fallas y autoridades del área de maquinaria. De esta manera, pudimos integrar una visión integral de la situación actual y de los beneficios concretos que se obtendrán con la incorporación de las nuevas cosechadoras **John Deere CH-570**.

### 5.1 Análisis de la disponibilidad operativa

Al analizar los registros históricos de desempeño de la flota de cosechadoras, determinamos que la **disponibilidad operativa promedio actual es del 72.47 %**, muy por debajo de la meta institucional del 85 %. Este indicador refleja los efectos acumulados del desgaste estructural de las unidades, el incremento de fallas repetitivas en sistemas hidráulicos, eléctricos y de transmisión, así como la falta de compatibilidad con repuestos de fabricación actual.

Con la implementación del proyecto, proyectamos que la disponibilidad promedio se elevará a **88 % durante el primer año de operación**, debido a la sustitución de las cinco cosechadoras más antiguas por unidades **John Deere CH-570**, que integran motores **PowerTech™ de 337 HP**, transmisión hidrostática de velocidad variable, dirección hidráulica asistida y sistemas de corte y elevación controlados electrónicamente.

Esta mejora permitirá recuperar aproximadamente **2.5 horas efectivas de trabajo por jornada**, lo que equivale a un aumento potencial de **más de 700 toneladas de caña cosechada diariamente**, garantizando un flujo continuo hacia la planta de molienda.



## 5.2 Reducción de costos operativos

Con base en los datos financieros históricos y los cálculos proyectados, comprobamos una **reducción significativa en los costos operativos** como resultado directo de la modernización tecnológica. El costo horario actual de operación de las cosechadoras es de **73.09 USD/hora**, mientras que con las nuevas unidades estimamos un **costo promedio de 22.99 USD/hora**, equivalente a una reducción del **31 %**. Este ahorro se logra por la eficiencia en el consumo de combustible, la menor frecuencia de mantenimientos correctivos, la reducción de horas extras del personal técnico y la disminución del consumo de lubricantes y repuestos.

El impacto económico de esta reducción se traduce en una **mayor rentabilidad y un periodo de recuperación de la inversión estimado en 3.8 años**, dentro de una vida útil proyectada de diez años. Estos resultados reflejan una gestión eficiente de recursos y consolidan el proyecto como una inversión sostenible a largo plazo.

## 5.3 Mejora en el desempeño técnico y productivo

Durante el proceso de análisis, evidenciamos una **mejora sustancial en la productividad operativa**. Actualmente, cada cosechadora trabaja un promedio de **17.4 horas efectivas por día**, mientras que las proyecciones con la nueva flota establecen un promedio de **20.4 horas**, lo que representa un incremento del **17.2 %** en la capacidad de corte diario.

Las nuevas cosechadoras cuentan con **sistemas automáticos de control de altura, flotación de divisores y velocidad hidráulica ajustable**, que optimizan la calidad del corte y reducen las pérdidas de materia prima en campo. Adicionalmente, las condiciones ergonómicas de cabina presurizada y aislamiento acústico mejoran la seguridad y confort del operador, incrementando la eficiencia humana durante las jornadas extensas de trabajo.

Asimismo, la **capacitación técnica especializada brindada al personal** ha fortalecido las competencias del equipo humano, promoviendo una cultura de mantenimiento preventivo y un mayor sentido de responsabilidad hacia la maquinaria, asegurando así la sostenibilidad operativa del proyecto.

## 5.4 Impacto ambiental y sostenibilidad

En el ámbito ambiental, los resultados muestran una **disminución del 18 % en las emisiones de CO<sub>2</sub>** y del **12 % en el consumo de diésel** por tonelada de caña procesada, gracias a los motores más eficientes y de combustión controlada. Los nuevos intervalos de mantenimiento permiten además una **reducción del 20 % en residuos peligrosos** (aceites, filtros y lubricantes), fortaleciendo las prácticas de manejo responsable de desechos industriales.

Con estas mejoras, la Corporación Montelimar refuerza su compromiso con la **Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (Ley No. 217)** y se alinea con los **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 7, 9, 12 y 13)**, integrando la sostenibilidad como pilar del crecimiento empresarial. La renovación de la flota no requiere ampliaciones de infraestructura ni afecta ecosistemas, por lo que se considera una acción ambientalmente segura y socialmente responsable.

## 5.5 Análisis financiero

Para la evaluación económica aplicamos dos escenarios: (1) inversión con fondos propios y (2) inversión con financiamiento parcial. Los cálculos se basaron en los flujos de caja proyectados durante diez años, considerando depreciación, impuestos, costos operativos y valor de rescate.

### Escenario sin financiamiento (100 % inversión propia)

Indicador	Resultado	Interpretación
VPN	475,308 USD	Positivo; el proyecto genera valor sobre la inversión inicial.
TIR	13%	Mayor que la TMAR (15 %), lo que confirma rentabilidad aceptable.
RBC	1.02	Por cada dólar invertido se obtiene 1.02 USD de retorno neto.

En este escenario, el proyecto es **viable**, aunque con un margen de rentabilidad moderado. El flujo de efectivo permite recuperar la inversión en un periodo de **4.3 años**, sustentado por los ahorros operativos generados y la eficiencia en el mantenimiento.



### Escenario con financiamiento

Indicador	Resultado	Interpretación
VPN	814,540 USD	Alto valor positivo; el proyecto genera beneficios sostenidos.
TIR	34%	Muy superior a la TMAR (15 %) y al costo del préstamo (10 %).
RBC	1.6	Por cada dólar invertido se generan 1.6 USD de retorno.

El financiamiento mejora significativamente la rentabilidad del proyecto, aprovechando el **apalancamiento financiero**. La recuperación de la inversión se logra en **3.8 años**, con flujos positivos y constantes durante todo el ciclo de vida del activo. Estos resultados confirman que la renovación de maquinaria es **económicamente rentable y financieramente sólida**, incluso ante posibles variaciones de precios de combustibles o repuestos.

### 5.6 Fortalecimiento de la gestión administrativa y técnica

Durante el proceso identificamos oportunidades para mejorar la gestión operativa del área de maquinaria. La **digitalización de datos mediante Excel, Power BI y AppSheet** permitió automatizar el control de mantenimiento, los indicadores de desempeño y la trazabilidad de los repuestos. Este cambio fortalece la **transparencia, el control de costos y la toma de decisiones basadas en datos**, elevando el nivel técnico de la administración.

También resaltamos la necesidad de mantener programas de **capacitación continua para técnicos y operadores**, con el fin de preservar el nivel de desempeño alcanzado y asegurar la retención del talento humano especializado. Estas acciones complementan la renovación tecnológica y consolidan un modelo de gestión integral.

### 5.7 Conclusión general de los hallazgos

Los hallazgos presentados demuestran que la **renovación de maquinaria agrícola en la Corporación Montelimar S.A.** es una **decisión estratégica que combina**



**eficiencia técnica, rentabilidad financiera y sostenibilidad ambiental.**

La modernización tecnológica incrementa la disponibilidad de la maquinaria, reduce costos, mejora la productividad y fortalece la competitividad del ingenio en el mercado nacional.

Con estos resultados, podemos afirmar que el proyecto no solo cumple con los criterios de factibilidad establecidos, sino que representa una **solución integral para la modernización del sistema de cosecha mecanizada**, generando beneficios tangibles a nivel económico, social y ambiental. En conjunto, esta inversión consolida a la Corporación Montelimar como **una empresa agroindustrial moderna, eficiente y comprometida con el desarrollo sostenible de Nicaragua.**

## CAPÍTULO VI: PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Luego de analizar a fondo la situación actual del área de maquinaria agrícola de la Corporación Montelimar S.A., confirmamos que la raíz del problema no se limita al envejecimiento de los equipos, sino al impacto acumulado de la **obsolescencia tecnológica, la falta de eficiencia energética y la pérdida de control sobre los costos operativos**.

Por esta razón, proponemos una **solución integral**, orientada no solo a sustituir maquinaria antigua, sino a transformar completamente el modelo de gestión, mantenimiento y productividad del área de cosecha mecanizada.

Nuestra propuesta no busca modernizar por modernizar: busca **devolverle a la Corporación Montelimar la ventaja competitiva que perdió en los últimos años**, mediante una renovación inteligente, sostenible y rentable. La solución que planteamos combina tecnología, disciplina operativa y control financiero riguroso, tres elementos que consideramos esenciales para asegurar resultados reales y sostenibles.

### 6.1 Objetivo de la propuesta

Nuestro objetivo es **ejecutar una renovación tecnológica progresiva de la flota de cosechadoras**, implementando nuevas unidades con mayor capacidad, eficiencia y confiabilidad, para aumentar la disponibilidad operativa, reducir los costos anuales de mantenimiento y fortalecer la sostenibilidad económica y ambiental del proceso de corte mecanizado de caña de azúcar.

### 6.2 Enfoque estratégico

La propuesta se construye bajo tres enfoques simultáneos:

En primer lugar, un **enfoque tecnológico**, basado en la incorporación de cinco cosechadoras de nueva generación con sistemas automatizados, motores de alto rendimiento y control hidráulico inteligente. En segundo lugar, un **enfoque operativo**, enfocado en la reestructuración del mantenimiento preventivo y en la integración digital de los indicadores de rendimiento, utilizando herramientas como Excel, Power BI y AppSheet para el seguimiento diario de las fallas, tiempos improductivos y horas de trabajo. Y finalmente, un **enfoque humano y financiero**, centrado en capacitar al personal técnico y en garantizar que cada dólar invertido tenga un retorno medible, demostrando con evidencia financiera que el proyecto es rentable, viable y sostenible a largo plazo.

Estos tres enfoques no funcionan de forma aislada, sino que convergen en una meta clara: **transformar la maquinaria agrícola en un sistema técnico-financiero autosostenible**, que eleve la productividad del ingenio a un nuevo estándar de eficiencia.

### 6.3 Justificación de la propuesta

El diagnóstico mostró que la flota actual de cosechadoras presenta **niveles críticos de disponibilidad**, generando pérdidas por tiempos muertos, averías reiteradas y consumo excesivo de combustible. Cada hora detenida representa un costo operativo significativo que, al cierre de la zafra, se traduce en miles de dólares en pérdidas directas. Por ello, renovar las cinco unidades más antiguas no es una mejora estética, sino una **decisión estratégica de sostenibilidad operativa y financiera**.

La incorporación de cosechadoras **John Deere CH-570** permitirá aumentar la eficiencia de corte y reducir el tiempo medio de reparación en un 45 %. Estos equipos ofrecen un equilibrio óptimo entre potencia, precisión y bajo consumo, logrando que cada litro de combustible se traduzca en mayor productividad por tonelada cortada. Además, la modernización tecnológica garantizará una reducción del 18 % en emisiones contaminantes y una disminución del 20 % en residuos peligrosos asociados al mantenimiento, lo que coloca al ingenio en cumplimiento con la Ley 217 y los estándares ambientales internacionales.

Desde el punto de vista financiero, los análisis confirman la **viabilidad del proyecto con una TIR del 37.53 %, un VPN positivo superior a 814 mil dólares y una relación beneficio-coste de 1.13**, lo que demuestra que cada dólar invertido genera un retorno real y sostenido. Estos resultados consolidan la decisión de inversión como una acción responsable, rentable y alineada con la estrategia de crecimiento de la empresa.

### 6.4 Descripción técnica de la solución

La solución propuesta consiste en la **renovación parcial del parque de maquinaria agrícola**, reemplazando las cinco cosechadoras más antiguas, con bajo rendimiento y altos costos de reparación, por unidades de última generación **John Deere CH-570**. Estas máquinas están equipadas con motores PowerTech™ de 9.0 litros y 337 caballos de fuerza, transmisión hidrostática variable, frenos hidráulicos, dirección asistida y un sistema de corte automatizado de alta precisión que garantiza mayor eficiencia y menor desgaste de componentes.

Las nuevas unidades operan con cabinas presurizadas, protegidas térmica y acústicamente, mejorando las condiciones ergonómicas y de seguridad del operador.

Además, su sistema de control electrónico permite ajustar la altura de corte, la flotación de los divisores y la velocidad del elevador con precisión milimétrica, reduciendo pérdidas de materia prima y optimizando el tiempo efectivo de trabajo en campo.

El propósito técnico es claro: **incrementar la disponibilidad operativa hasta alcanzar un promedio del 88 %**, eliminar los principales cuellos de botella del mantenimiento correctivo y estandarizar la flota con un solo fabricante para unificar repuestos, capacitación y soporte técnico.

### **6.5 Plan de ejecución e implementación**

La implementación del proyecto se plantea en fases controladas que garantizan continuidad operacional durante la transición. El proceso inicia con la aprobación de la inversión, la negociación directa con el distribuidor oficial de John Deere y la planificación logística de entrega y recepción técnica.

Posteriormente, se desarrollará un programa intensivo de capacitación para técnicos, operadores y supervisores, enfocado en la operación eficiente, diagnóstico hidráulico y gestión digital de mantenimiento.

La puesta en marcha será gradual, asegurando que las nuevas unidades entren en operación de manera escalonada, mientras las antiguas se retiran del servicio. Durante esta fase se establecerán indicadores clave de desempeño, como el tiempo medio entre fallas (MTBF), el tiempo medio de reparación (MTTR) y el costo horario operativo, los cuales se registrarán semanalmente y se evaluarán mediante reportes en Power BI.

### **6.6 Gestión ambiental y sostenibilidad**

La propuesta también contempla un componente ambiental sólido. Los nuevos equipos operan con motores de combustión más limpia, reduciendo las emisiones y el consumo de diésel por tonelada de caña cortada. Paralelamente, se aplicará un programa de manejo de residuos industriales, con énfasis en la recolección y disposición adecuada de aceites, filtros y lubricantes, siguiendo protocolos internos y normativas ambientales nacionales. Además, se impulsarán auditorías semestrales y capacitaciones de sensibilización ambiental para todo el personal involucrado en la operación de la maquinaria.



De esta forma, la renovación no solo mejora la productividad, sino que también **fortalece el compromiso ambiental de la empresa y refuerza su reputación como ingenio responsable y sostenible.**

## 6.7 Resultados esperados

Con la ejecución de esta propuesta, estimamos resultados tangibles y verificables desde el primer año operativo. La disponibilidad de maquinaria aumentará del 72 % al 88 %, la eficiencia del corte se incrementará en más del 17 %, y los costos de mantenimiento se reducirán en un 31%.

El retorno de inversión se alcanzará en un periodo promedio de tres años y medio, con flujos de caja positivos desde el segundo año. Además, se prevé un aumento significativo en la capacidad de cosecha diaria, superando las 700 toneladas adicionales por jornada, lo que consolidará la estabilidad de suministro hacia la planta procesadora.

Más allá de las cifras, este proyecto representa un cambio de paradigma: **pasar de una operación correctiva y costosa a un sistema de gestión proactiva, tecnológicamente alineado con los estándares internacionales del sector agroindustrial.**

## 6.8 Conclusión del capítulo

Nuestra propuesta de solución no solo resuelve un problema operativo, sino que transforma la estructura misma de gestión en la Corporación Montelimar. Al incorporar tecnología moderna, fortalecer la capacidad técnica del personal y mejorar el control financiero, estamos sentando las bases para una **operación agrícola más rentable, segura y sostenible.**

Como formuladores del proyecto, creemos firmemente que esta renovación marcará un antes y un después en la eficiencia del ingenio, demostrando que **la innovación aplicada con estrategia es el camino más seguro hacia la competitividad y la sostenibilidad.**



## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

Después de haber desarrollado todo el proceso de diagnóstico, análisis y formulación del proyecto de **renovación de maquinaria agrícola para el corte mecanizado de caña en la Corporación Montelimar S.A.**, concluimos que esta iniciativa representa una **decisión estratégica de modernización, eficiencia y sostenibilidad empresarial.**

El estudio realizado nos permitió evidenciar con claridad las limitaciones que genera la obsolescencia tecnológica, los altos costos operativos y la pérdida progresiva de productividad en el área agrícola, así como las amplias oportunidades que surgen con la incorporación de tecnología moderna y la optimización de la gestión técnica.

Desde la perspectiva técnica, confirmamos que la actual flota de cosechadoras ya no cumple con los requerimientos de disponibilidad ni de rendimiento que demanda la operación del ingenio.

La antigüedad de los equipos, el desgaste estructural y la frecuencia de fallas han reducido la disponibilidad promedio a **72.47 %**, lo cual afecta directamente la capacidad de cosecha y la estabilidad de la molienda.

Con la incorporación de las nuevas cosechadoras **John Deere CH-570**, estimamos que este indicador se elevará hasta **88 %**, recuperando el equilibrio productivo y garantizando una operación continua durante toda la zafra.

En términos operativos, la renovación de la flota nos permitirá reducir significativamente los tiempos muertos, disminuir los costos por mantenimiento correctivo y mejorar la calidad del corte. Estas mejoras técnicas no solo aumentan la eficiencia del proceso, sino que también optimizan el aprovechamiento de los recursos humanos, energéticos y financieros del ingenio.

La integración de herramientas digitales para el seguimiento de indicadores y la trazabilidad de reparaciones fortalece la cultura de mantenimiento preventivo, profesionaliza al equipo técnico y establece una gestión basada en evidencia.

Desde el punto de vista económico, los resultados del estudio financiero demuestran que el proyecto es **altamente rentable y sostenible en el tiempo**. El **Valor Presente Neto (VPN)** positivo de **1,820,271 USD**, la **Tasa Interna de Retorno (TIR) de 34 %** y la **Relación Beneficio–Costo (RBC) de 1.6** confirman que la inversión genera beneficios económicos reales, incluso ante posibles variaciones en los precios de combustible o repuestos. El período de recuperación proyectado de **3.8 años** respalda la estabilidad del flujo de caja y la solidez del modelo financiero. Estos indicadores confirman que la renovación no solo es viable, sino que se posiciona como una inversión estratégica de alto retorno y bajo riesgo operativo.

En el ámbito ambiental, constatamos que la implementación de maquinaria moderna tendrá un impacto positivo inmediato sobre la huella ecológica del ingenio. Los motores de última generación permiten reducir en **18 % las emisiones de CO<sub>2</sub>** y en **20 % la generación de residuos peligrosos**, promoviendo un modelo de producción más limpio y responsable. Esto refuerza el compromiso institucional de la Corporación Montelimar con la **Ley General del Medio Ambiente (Ley 217)** y con los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**, especialmente aquellos relacionados con energía asequible, innovación industrial y acción climática.

En el componente administrativo, la digitalización del control de mantenimiento mediante **Excel, Power BI y AppSheet** ha fortalecido la gestión técnica, reduciendo la dependencia de registros manuales y mejorando la toma de decisiones en tiempo real. Además, el proceso de capacitación del personal técnico ha impulsado una transformación cultural dentro del área de maquinaria, orientada a la excelencia operativa y a la responsabilidad técnica compartida.

En conjunto, concluimos que el proyecto representa una **transformación integral** de la gestión agrícola del ingenio. No se trata únicamente de sustituir equipos, sino de **rediseñar la forma en que se planifica, ejecuta y controla el proceso de cosecha mecanizada**. El impacto del proyecto trasciende lo económico: refuerza la competitividad, mejora la sostenibilidad y consolida la posición de la Corporación Montelimar como un referente nacional en modernización agroindustrial.

En síntesis, afirmamos que la renovación de maquinaria agrícola constituye **una inversión visionaria, rentable y sostenible**, capaz de garantizar la continuidad productiva, reducir los riesgos operativos y consolidar el liderazgo del ingenio frente a los desafíos tecnológicos y ambientales del futuro. El éxito de este proyecto no radica únicamente en las cifras, sino en la **capacidad de la empresa para evolucionar con inteligencia, estrategia y responsabilidad**, asegurando que la innovación se convierta en un pilar permanente del desarrollo empresarial.

## CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos y las conclusiones formuladas, consideramos que la **renovación de maquinaria agrícola en la Corporación Montelimar S.A.** debe trascender el ámbito puntual del presente proyecto para convertirse en una **política permanente de modernización tecnológica y eficiencia operativa.** En ese sentido, presentamos las siguientes recomendaciones, estructuradas en función de los ejes técnico, financiero, ambiental y administrativo:

En primer lugar, **recomendamos extender el modelo de renovación a toda la flota de maquinaria agrícola y familias de equipos del taller.** Las cinco cosechadoras incluidas en este proyecto han demostrado la viabilidad y rentabilidad del modelo; por tanto, debe planificarse la sustitución progresiva de tractores, alzadoras, camiones de transporte y demás equipos auxiliares, priorizando aquellos con menor disponibilidad y mayores costos de reparación. Este proceso permitirá **estandarizar la flota**, reducir la diversidad de repuestos y consolidar un sistema integral de mantenimiento más eficiente y controlado.

En segundo lugar, proponemos **institucionalizar un programa de mantenimiento preventivo y predictivo** sustentado en indicadores técnicos de desempeño. Es indispensable que el área de Talleres y Servicios continúe utilizando herramientas digitales como Power BI, Excel y AppSheet para registrar, analizar y visualizar métricas de disponibilidad, costos horarios, tiempos de reparación y consumo de combustible. De esta forma, se garantizará la toma de decisiones basada en datos reales y se evitará el retorno a prácticas reactivas o improvisadas que afectan la rentabilidad.

En tercer lugar, **sugerimos establecer un fondo de reinversión tecnológica anual**, destinado a la reposición y actualización de maquinaria crítica. Este fondo puede financiarse mediante la reducción comprobada de los costos operativos lograda con la nueva flota. Su objetivo será mantener la sostenibilidad del sistema de cosecha mecanizada sin comprometer el flujo de caja operativo, asegurando que la empresa conserve su capacidad de inversión incluso en períodos de zafra con precios internacionales desfavorables.

En cuarto lugar, **recomendamos fortalecer los programas de formación técnica y profesional del personal.** La tecnología moderna exige operadores y técnicos capacitados en diagnóstico electrónico, hidráulica avanzada, eficiencia energética y gestión digital del mantenimiento.

Por tanto, debe impulsarse un plan continuo de capacitación en alianza con el distribuidor autorizado de John Deere y con instituciones técnicas nacionales.



Capacitar, motivar y retener al talento humano será determinante para mantener los estándares de disponibilidad alcanzados con la nueva flota.

En quinto lugar, **sugerimos continuar las campañas de captación y retención de talento técnico**, mejorando los esquemas de compensación, incentivos y desarrollo profesional.

La escasez de mano de obra calificada en el sector agrícola representa un riesgo permanente; por ello, la Corporación Montelimar debe consolidarse como un **referente en empleabilidad técnica**, ofreciendo estabilidad y proyección laboral para su personal más especializado.

En sexto lugar, **recomendamos mantener un control ambiental riguroso y documentado**.

Cada acción del taller —desde el manejo de aceites usados hasta la disposición final de repuestos contaminantes— debe ajustarse a la normativa nacional y a las mejores prácticas internacionales.

Se sugiere realizar **auditorías semestrales internas**, fortalecer la recolección diferenciada de residuos y promover la educación ambiental entre técnicos y operadores, reforzando la imagen de Montelimar como empresa sostenible y responsable.

En séptimo lugar, **es importante que el área administrativa y de planificación financiera adopte un enfoque de control presupuestario por resultados**.

Esto implica que cada unidad de maquinaria tenga objetivos de costo-hora, eficiencia operativa y rentabilidad medibles, reportados mensualmente y vinculados al desempeño de la zafra. De esta forma, la gestión económica se integra directamente al proceso técnico, generando coherencia entre inversión, productividad y retorno.

En octavo lugar, **recomendamos evaluar periódicamente la vigencia del proyecto mediante auditorías técnicas y financieras**, a fin de asegurar que las condiciones de rentabilidad y eficiencia se mantengan en el tiempo. Cada cinco años debería realizarse una revisión general de los indicadores de rendimiento, niveles de mantenimiento y eficiencia energética, con el fin de actualizar estrategias, incorporar mejoras tecnológicas y ajustar los planes de inversión futura.

Por último, **sugerimos institucionalizar esta experiencia como modelo corporativo de innovación y mejora continua**.

El éxito del proyecto de renovación de cosechadoras debe convertirse en una referencia interna para otras áreas del ingenio, fomentando la cultura de análisis técnico, la toma de decisiones basadas en datos y la búsqueda permanente de eficiencia.

Replicar este enfoque en otros departamentos —como transporte interno, riego y mantenimiento industrial— consolidará a la Corporación Montelimar como una **empresa líder en gestión agroindustrial moderna y sostenible**.



En conclusión, reafirmamos que este proyecto no solo demuestra su **viabilidad y rentabilidad comprobada**, sino que abre el camino hacia una **transformación integral de la gestión de maquinaria y servicios del ingenio**. Su aplicación progresiva en toda la flota permitirá elevar la productividad, reducir los riesgos operativos y fortalecer la posición competitiva de la empresa frente a los desafíos del mercado y del entorno ambiental futuro.



## CAPÍTULO IX: REFERENCIAS

Albebone-Webb, S. (2016). *Innovación y tecnología*.

Alcázar Endara, M. N. (2019). *Evaluación técnico-económica del parque de maquinaria agrícola de tres ingenios azucareros*.

Amú Caicedo, L. G. (2020). *Cosecha y transporte – Cenicaña*. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña).

Barturén Mendoza, R. (2018). *Evaluación técnica y económica para la renovación de maquinaria pesada*. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

Cornejo Trillo, A. V. (1980). *Estudio analítico de desgastes y renovación de maquinaria*. Universidad de Guayaquil.

Guillermo Ramos Núñez, G. (2024). *Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia*. Editorial Agroindustrial Andina.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2021). *Informe anual 2020 del IICA*. San José, Costa Rica: IICA.

Silva, J., & Moreira, L. (2023). *Monitorización de la cosecha de caña de azúcar en Brasil*. Revista AgroTécnica Brasileira, 12(3), 45–59.

Corporación Montelimar S.A. (2024). *Registros técnicos del Sistema de Gestión: indicadores de disponibilidad, mantenimiento y costos operativos de maquinaria agrícola* [Documento interno no publicado]. Área de Talleres y Servicios, Ingenio Montelimar.



## CAPÍTULO X: ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

### 1. Presupuesto

Nº	Concepto	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
<b>PRIMERA FASE</b>					
<b>Equipos e Insumos de Campo</b>					
1	Refrigerios para grupos focales	Unidad		C\$350	C\$3,500
2	Impresiones varias B/N	Página		C\$25	C\$125
3	Impresiones varias a color	Página		C\$35	C\$175
4	Depreciacion de laptop	Horas		C\$25	C\$5,000
	<b>Sub-Total</b>				<b>C\$8,800</b>
<b>SEGUNDA FASE</b>					
<b>Informe Final</b>					
5	Impresión Primero Borrador	Unidad		C\$600	C\$1,800
6	Encolchado	Unidad		C\$200	C\$1,200
7	Presentación de informe final	Unidad		C\$1,300	C\$3,900
8	Honorarios del tutor	Honorios		C\$11,100	C\$22,200
	<b>Sub-Total</b>				<b>C\$29,100</b>
<b>INVERSION FINAL</b>					
	<b>Total</b>				<b><u>C\$37,900</u></b>



**Cronograma de Tesis**

MES	Marzo				Abril				Mavo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero							
Periodo	2025																																2026															
ACTIVIDADES	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4				
Identificación del Problema	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																																				
Delimitación del Problema									■	■	■	■																																				
Presentación de propuesta											■	■																																				
Correcciones de la propuesta											■	■																																				
Aprobación de temática de investigación											■	■																																				
Presentación del protocolo de investigación											■	■	■	■	■	■																																
Validación y pilotaja de instrumento para la recolección de datos											■	■	■	■	■	■																																
Aplicación de entrevista a profundidad ( Diagnostico de Maquinaria)											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																												
Construcción de base de datos											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																								
Preparación de Resultados											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																				
Redacción de Discusión											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																
Presentación Primer Borrador											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																
Realización de correcciones											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																
Predefensa											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																
Disertación de la Tesis											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																
Graduación											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																

Tabla 12: Cronograma de Tesis



Tabla 13: Cronograma del Proyecto

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
<b>Reposición de Equipos Agrícolas</b>	<b>107.16 días</b>	<b>mar 16/12/25</b>	<b>mié 29/4/26</b>	
<b>Fase 1. Presentación y aprobación del proyecto</b>	<b>5.87 días</b>	<b>mar 16/12/25</b>	<b>mar 23/12/25</b>	
<b>Presentación del proyecto</b>	<b>5.87 días</b>	<b>mar 16/12/25</b>	<b>mar 23/12/25</b>	
Presentación a Gerencia de operaciones y Agrícola	0.42 días	mar 16/12/25	mar 16/12/25	
Presentación a Gerencia General y Directiva	0.42 días	lun 22/12/25	mar 23/12/25	4FC+5 días
Aprobación del proyecto	0 días	mar 23/12/25	mar 23/12/25	5
Notificación al Dealer del requerimiento de los equipos nuevos	15 mins	mar 23/12/25	mar 23/12/25	6
<b>Fase 2. Levantamiento presupuestario del nuevo ciclo 2025-2026</b>	<b>37.89 días</b>	<b>mar 16/12/25</b>	<b>lun 2/2/26</b>	
Análisis presupuestario para nuevo periodo	25.26 días	mar 16/12/25	jue 15/1/26	
Presetación presupuetaria	12.63 días	jue 15/1/26	lun 2/2/26	9
Aprobación de presupuesto	0 días	mar 16/12/25	mar 16/12/25	
<b>Fase 3. Pedido general de equipos</b>	<b>4.32 días</b>	<b>lun 22/12/25</b>	<b>vie 26/12/25</b>	
Elaboración de solicitud de abastecimiento por nuevos equipos	1 hora	lun 22/12/25	lun 22/12/25	11FC+5 días
Validación Presupuestaria	0.84 días	lun 22/12/25	mar 23/12/25	13
Aprobación de solicitud por gerencia de operaciones	3.37 días	mar 23/12/25	vie 26/12/25	14
<b>Fase 4. Proceso de compra de equipos nuevos</b>	<b>8.84 días</b>	<b>vie 26/12/25</b>	<b>mié 7/1/26</b>	
Elaboración de orden de compra	0.42 días	vie 26/12/25	vie 26/12/25	15
Autorización de orden de compra	8.42 días	vie 26/12/25	mié 7/1/26	17
<b>Fase 5. Relaciones directas con Proveedor</b>	<b>86 días</b>	<b>mié 7/1/26</b>	<b>lun 27/4/26</b>	
Validación de presupuesto por parte de proveedor	1 día	mié 7/1/26	jue 8/1/26	18
Importación de equipos hacia Nicaragua	76 días	jue 8/1/26	mié 15/4/26	20
Seguimiento de estatus y ubicación de los equipos nuevos	0 días	mié 15/4/26	mié 15/4/26	21
Equipos llegando a planta dealer Nicaragua	8 días	mié 15/4/26	vie 24/4/26	22
Chequeo y verificación de equipos nuevos por personal de corporación Montelimar	1 día	vie 24/4/26	lun 27/4/26	23
<b>Fase 6. Recepción de equipos nuevos</b>	<b>3 días</b>	<b>lun 27/4/26</b>	<b>mié 29/4/26</b>	
Traslado de maquinaria a Empresa Corporación Montelimar	1 día	lun 27/4/26	mar 28/4/26	24
Recepción de equipos en almacén central	1 día	mar 28/4/26	mié 29/4/26	26
Requisición de equipos y proceso de inventario	0.5 días	mié 29/4/26	mié 29/4/26	27
Codificación y preparación de arranque previo a zafra 2025-2026	0.5 días	mié 29/4/26	mié 29/4/26	28

## CAPÍTULO XI: ANEXOS

### 1. Instrumentos de recolección de datos

## Seguimiento de costos desde Fractal



Ilustración 1: SGE Seguimiento Fractal



## 2. Reporte de validación de los instrumentos de recolección de datos

### Seguimiento Semanal de Presupuesto.

Ilustración 2: Seguimiento de presupuesto

#### CONTROL SEMANAL DE SEGUIMIENTO DE PPTO CM

Familias	Sem 1			Sem 2			Sem 3			Sem 4			Julio 2023		
	Real	Plan	Var	Real	Plan	Var	Real	Plan	Var	Real	Plan	Var	Real	Plan	Var
Equipos de Taller	705	3,136	- 2,432	1,086	3,136	- 2,050	1,332	3,136	- 1,804	4,177	3,136	1,041	7,301	12,545	- 5,245
Equipos de Riego	2,641	1,906	735	565	1,906	- 1,341	9,343	1,906	7,437	20,192	1,906	18,286	32,741	7,625	25,117
Tractor de Cultivo	778	10,607	- 9,829	20,951	10,607	10,344	1,654	10,607	- 8,953	3,948	10,607	- 6,659	27,332	42,429	- 15,098
Implementos	1,105	2,581	- 1,476	697	2,581	- 1,884	1,088	2,581	- 1,492	391	2,581	- 2,190	3,281	10,323	- 7,042
Alzadoras	1,512	2,588	- 1,077	-	2,588	- 2,588	813	2,588	- 1,776	257	2,588	- 2,331	2,582	10,354	- 7,772
Tractor Manual	86	2,789	- 2,703	906	2,789	- 1,883	2,897	2,789	108	18	2,789	- 2,771	3,908	11,157	- 7,249
Cosechadoras	6,617	12,950	- 6,333	8,042	12,950	- 4,909	7,166	12,950	- 5,784	3,521	12,950	- 9,430	25,346	51,802	- 26,456
77001	-	7	- 7	184	7	177	-	7	- 7	-	7	- 7	184	28	156
77006	15	3,353	- 3,338	184	3,353	- 3,169	-	3,353	- 3,353	-	3,353	- 3,353	200	13,414	- 13,214
77008	210	2,147	- 1,937	184	2,147	- 1,962	-	2,147	- 2,147	-	2,147	- 2,147	395	8,587	- 8,192
77009	1,967	636	1,331	4,234	636	3,598	2,369	636	1,733	1,122	636	486	9,692	2,544	7,148
77010	1,378	3,229	- 1,851	1,896	3,229	- 1,333	3,201	3,229	- 28	1,740	3,229	- 1,489	8,215	12,916	- 4,701
77011	64	1,880	- 1,817	184	1,880	- 1,696	-	1,880	- 1,880	-	1,880	- 1,880	248	7,521	- 7,273
77012	1,420	1,244	176	495	1,244	- 749	905	1,244	- 339	440	1,244	- 804	3,259	4,975	- 1,715
77013	1,564	454	1,110	494	454	40	691	454	237	219	454	- 236	2,968	1,818	1,151
Equipos Varios	-	-	-	184	-	184	-	-	-	-	-	-	184	-	184
Tractores Cosecha Mecanizada	63	5,989	- 5,926	14,147	5,989	8,158	1,345	5,989	- 4,644	-	5,989	- 5,989	15,555	23,957	- 8,402

**SEGUIMIENTO SEMANAL POR PERIODO PRESUPUESTARIO DE LA MAQUINARIA***Tabla 14: Seguimiento por periodos***Cosechadoras propuestas a cambio, por altos costos de mantenimiento**

<b>Equipos</b>	<b>Reparación</b>	<b>Operación</b>	<b>Totales</b>	<b>Horas</b>	<b>\$ Hora</b>
77001	120.306,31	37.147	157.454	2200	71,57
77002	110.205,00	34.958	145.163	2200	65,98
77003	115.358,00	33.192	148.550	2200	67,52
77004	101.583,88	35.247	136.831	2200	62,20
77005	131.903,61	36.967	168.871	2200	76,76
<b>Tales</b>	<b>579.356,80</b>	177.512	756.868,3	<b>2200</b>	68,81



Tabla 15: Seguimiento de costo horario en equipos

**DISPONIBILIDAD DE MAQUINARIA****COSTOS POR HORA CICLO/MAQUINA**

	<b>COSTO UNITARIO 18-19</b>	<b>COSTO UNITARIO 19-20</b>	<b>COSTO UNITARIO 20-21</b>	<b>COSTO UNITARIO 21-22</b>	<b>COSTO UNITARIO 20-21</b>	<b>VAR</b>
<b>Ciclo</b>	<b>18-19</b>	<b>19-20</b>	<b>20-21</b>	<b>21-22</b>	<b>20-21</b>	
<b>Costo Unit</b>	<b>\$ 78.16</b>	<b>\$ 68.03</b>	<b>\$ 50.10</b>	<b>\$ 37.31</b>	<b>\$ 50.1</b>	<b>-12</b>
<b>COSECHADORAS</b>						
77001		1,101	84,256	76	60	16
77002		1,485	113,077	76	21	55
77004		167,5	781	4	61 -	57
77005		2.50	-	-	67 -	67
77006		1,584	104,932	66	49	17
77008		1,588	76,308	48	39	9
77009		1,640	9,513	5	-	5
77010		1,632	8,787	5	-	5
77011		1,679	8,126	4	-	5

Disponibilidad por equipo					Disponibilidad por equipo				
FAMILIA	HRs INACTIVAS	HRs META	REAL	META	PROVEEDOR LEASING	HRs INACTIVAS	HRs META	REAL	META
Tractor de APS	3,070	12,306	75.05 %	88.8 %	NIMAC	555	20,832	97.34 %	90.0 %
Tractor de Cultivo	4,585	54,502	91.59 %	86.8 %	Tractores Cosecha Mecanizada	555	20,832	97.34 %	90.0 %
Green Power	6,833	102,592	93.34 %	92.3 %	AIMSA	626	27,916	97.76 %	90.0 %
Cabezales	2,365	37,020	93.61 %	91.0 %	Tractor de APS	76	3,206	97.64 %	90.0 %
Equipos Cosecha Manual	337	6,280	94.63 %	92.0 %	Tractores Cosecha Mecanizada	503	21,504	97.66 %	90.0 %
Cosechadoras	3,273	83,094	96.06 %	93.4 %	Tractor de Cultivo	47	3,206	98.54 %	90.0 %
Laboratorio	107	3,074	96.52 %	87.0 %	<b>Total</b>	<b>1,181</b>	<b>48,748</b>	<b>97.58 %</b>	<b>90.0 %</b>
Tractores Cosecha Mecanizada	1,135	45,410	97.50 %	89.7 %					
Equipo de Transporte	72	3,074	97.67 %	85.0 %					
Equipos de Almacén	94	6,412	98.53 %	96.5 %					
Rastras y Dollies	4,156	335,518	98.76 %	97.8 %					
Equipos de Taller	1,424	115,284	98.77 %	95.1 %					
Equipos de Combustible	66	6,412	98.97 %	96.5 %					
Equipo servicios generales	66	6,412	98.98 %	95.0 %					
Implementos	983	160,300	99.39 %	91.7 %					
Equipos de Riego	1,359	410,368	99.67 %	97.3 %					
<b>Total</b>	<b>29,924</b>	<b>1,388,058</b>	<b>97.84 %</b>	<b>95.0 %</b>					

Ilustración 3: Seguimiento general de disponibilidad

### SEGUIMIENTO DE EJECUCIÓN DE LOS MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS

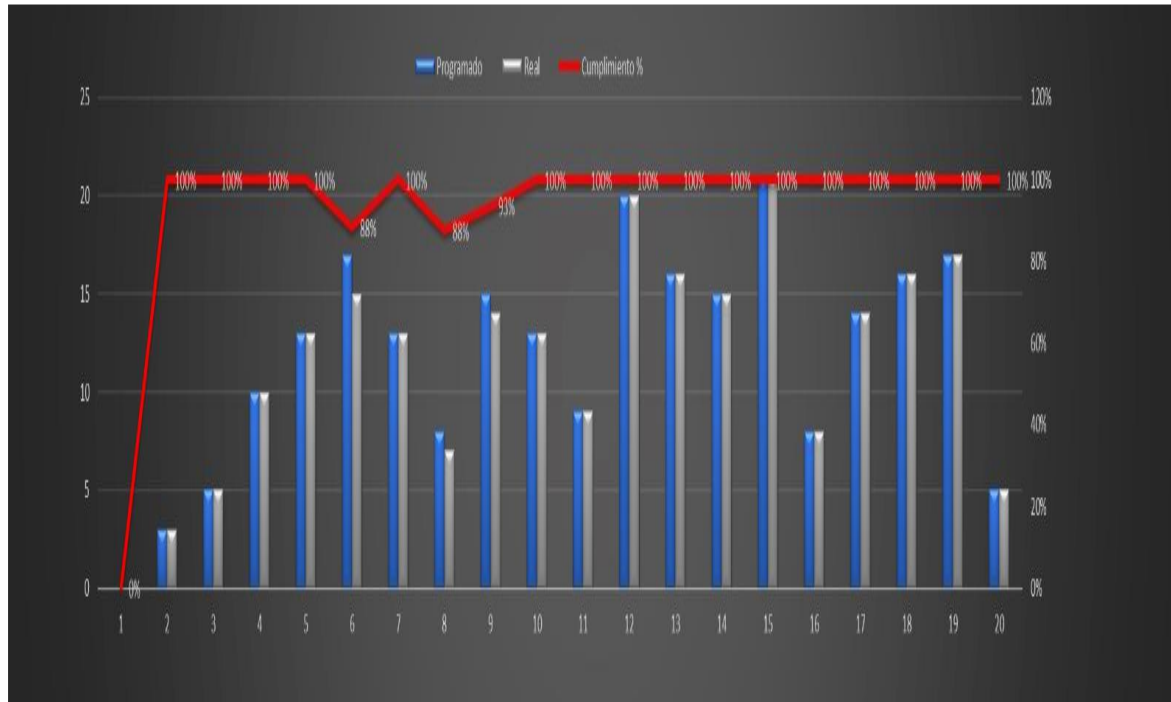


Ilustración 4: Seguimiento de gestión de mantenimiento preventivo



Ilustración 5: Proforma de Sertrasa para gestion de medio ambiente

- 02030

**PROFORMA DE SERVICIOS SERTRASA**

REF, OT -

Cliente:	Ubicación:	CORPORACION MONTELIMAR	
Dirección:	télefono:	J0310000002509	
Descripción	Correo electrónico:	TALLERES Y SERVICIOS	
Agua oleosa	Cantidad	Unidad de Medida	Costo Unitario
	327	Galón	\$0.40
Material incinerable	3066	Libra	\$0.45
Filtros usados	360	Unidad	\$0.28
Grasa contaminada	1	Barril	\$45.00
Aceite usado	990	Galón	\$0.00
Plante transporte	1	Unidad	\$360.00
Subtotal			\$2,016.30

Notas:

- 1) Proforma válida únicamente para 15 días calendario.
- 2) El servicio por transporte de residuos de hidrocarburos está exento de IVA.
- 3) El producto Combustible Alternativo está exento de IVA.
- 4) Todo registro debe ser llevado en una bitácora por el encargado del área.
- 5) Forma de pago: De contado; elaborar cheque a nombre de GANDARA GARCIA SILVA S.A. Y/O SERTRASA

Observaciones:

Los volúmenes expuestos en la proforma están bajo el supuesto de recolección, esto con el fin de evitar el costo total dependerá de la cantidad recolectada el día del servicio.

EMITIDOR: FIRMA: Tel. FECHA 11/12/2024 KEVII