

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA  
CONFIABILIDAD PARA EQUIPOS DE COSECHA MECANIZADA PARA LA  
OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE LOS INGENIOS AZUCAREROS DE  
EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:

**JOSÉ MANUEL TORRES HERRERA**

**ROXANA MARISOL LIPE ZARCO**

**DANIEL EDUARDO GONZÁLEZ CERNA**

Para optar al título de:

**INGENIERO(A) INDUSTRIAL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO 2025

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR:

**MSC. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA**

SECRETARIO GENERAL

**LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO

**ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA**

SECRETARIO

**ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

DIRECTORA INTERINA:

**MSC. JEANNETTE ELIZABETH SÁNCHEZ DE POCASANGRE**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO (A) INDUSTRIAL**

Título:

**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA  
CONFIABILIDAD PARA EQUIPOS DE COSECHA MECANIZADA PARA LA  
OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE LOS INGENIOS AZUCAREROS DE  
EL SALVADOR**

Presentado por:

**JOSÉ MANUEL TORRES HERRERA**  
**ROXANA MARISOL LIPE ZARCO**  
**DANIEL EDUARDO GONZÁLEZ CERNA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**MSC. JEANNETTE ELIZABETH SÁNCHEZ DE POCASANGRE**

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO 2025

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**MSC. JEANNETTE ELIZABETH SÁNCHEZ DE POCASANGRE**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que, de una u otra forma, han contribuido al desarrollo y culminación de este proyecto. En primer lugar, mi gratitud a Dios, cuya guía y fortaleza me han sostenido en cada paso de este camino, brindándome sabiduría y perseverancia para enfrentar los desafíos.

A mi asesor de tesis, la ingeniera Jeannette Elizabeth Sánchez de Pocasangre, le extiendo mi agradecimiento profundo por su orientación constante, sus valiosos comentarios y su compromiso en cada etapa del trabajo. Su experiencia y disposición para guiarme han sido esenciales para estructurar y afinar cada aspecto de este estudio. Asimismo, agradezco a los profesores de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de El Salvador, quienes, con su enseñanza y dedicación, contribuyeron significativamente a mi formación profesional.

No puedo dejar de agradecer a mis compañeros y amigos, quienes me acompañaron en este recorrido académico, compartiendo sus conocimientos y brindándome apoyo en momentos de dificultad. También agradezco a mi familia por su paciencia, comprensión y respaldo incondicional, sin los cuales no habría sido posible alcanzar este logro. También agradezco a mi amigo, el ing. Carlos Ernesto Sanabria, quien con su confianza y conocimiento me apoyó en la realización de esta investigación. Su apoyo y confianza me impulsaron a perseverar en la consecución de este objetivo.

A todas mis amistades que conforman mi Red de Apoyo, un profundo agradecimiento ya que en todo momento estuvieron animándome a luchar y culminar esta etapa profesional.

José Manuel Torres Herrera

Agradecido con Dios más que nadie por proveerme de las fuerzas necesarias a lo largo de todos estos años acompañándome de principio a fin en esta carrera universitaria en donde hubo momentos difíciles y también momentos amenos pero que sin su ayuda no hubiera sido posible culminar esta etapa de mi vida universitaria

También Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de alguna manera a la realización de esta tesis.

En primer lugar, agradezco a mi docente asesor de tesis la Inga. Jeannette Elizabeth Sánchez De Pocasangre por su invaluable orientación, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proceso. Su experiencia y consejos han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A mis profesores y compañeros de la Universidad de El Salvador, gracias por compartir sus conocimientos y por los momentos de aprendizaje y colaboración. Su apoyo ha sido esencial para mi crecimiento académico y personal.

A mi esposa Yeniffer de González que estuvo durante todo el proceso firme apoyándome en todo momento sin importar los sacrificios que son innumerables y a mis hijos que fueron el motor que me impulso a continuar hacia delante hasta el final

A mi familia, por su amor incondicional y por creer en mí en todo momento. Gracias por su comprensión y por brindarme el ánimo necesario para seguir adelante, especialmente en los momentos más difíciles.

A mis amigos, por su compañía y por los momentos de distracción que me ayudaron a mantener el equilibrio durante este arduo camino. Finalmente, agradezco a todas las personas y entidades que, de una u otra manera, han contribuido a la realización de esta tesis. Sin su apoyo, este logro no habría sido posible.

Daniel Eduardo González Cerna

En primer lugar, agradecer a Dios todopoderoso, por permitirme llegar hasta el final de esta carrera, reconozco que, sin sus bendiciones, conocimientos y oportunidades, no hubiera llegado hasta aquí. Agradecer también a la Inga. Jeannette Elizabeth Sánchez De Pocasangre, nuestra asesora de tesis, por todo el apoyo, orientación y paciencia brindada en este proceso que estamos por culminar; y a los jurados Ing. Karen Cruz y el Ing. Daniel Santos, por sus valiosos aportes para mejorar nuestro trabajo de tesis.

Muy agradecida con la Universidad de El Salvador, y sus docentes principalmente, por haberme permitido formar parte de parte de sus éxitos profesionales, que, sin duda alguna, demostraré los conocimientos adquiridos, en el ámbito laboral y personal.

A mi familia, expresarles mi gratitud, por apoyarme siempre, a mi madre, por hacer de mí una mejor persona, por medio de sus consejos, enseñanza y amor; a mi padre, por el acompañamiento que me brindó desde el principio de la carrera, aportándome sus conocimientos en algunas áreas conocidas por él, y por aconsejarme siempre a superar cualquier obstáculo y lograr mis objetivos; a mis hermanos y demás familia por estar allí presentes para apoyarme cuando más los necesité.

También estoy profundamente agradecida con mis compañeros de tesis, Daniel Gonzales y José Manuel Torres, porque estuvieron conmigo en los momentos de estrés y alegría durante este largo y retador camino, y por dar su máximo esfuerzo en la realización de cada actividad académica. Asimismo, apreciar el apoyo recibido de parte del Ing. Carlos Sanabria, por sus recomendaciones para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Y para finalizar, darles las gracias a todas mis amistades por motivarme a seguir adelante y no darme por vencida.

Roxana Marisol Lipe Zarco

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	4
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos .....	4
ALCANCES Y LIMITACIONES.....	5
Alcances.....	5
Limitaciones .....	5
ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO .....	6
Generalidades de Mantenimiento .....	6
Historia del Mantenimiento .....	7
Objetivos del Mantenimiento .....	9
Planificación y Programación de Mantenimiento .....	9
Finalidad del Mantenimiento.....	12
Costos de Mantenimiento .....	13
Clasificación de las Fallas Según la Vida Útil de la Maquinaria .....	14
Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad .....	15
Efectividad del Mantenimiento .....	16
Tipos de Mantenimiento.....	17

Modelos de Mantenimiento .....	21
Generalidades del Modo y Efecto de Falla (AMEF) .....	25
Generalidades del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.....	27
Cosecha Mecanizada .....	38
MARCO LEGAL .....	62
Normativa Legal.....	62
Ley de la Producción, Industrialización y Comercialización de la Agroindustria Azucarera de El Salvador .....	62
Normativa Técnica .....	65
Norma SAE JA1011 Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.....	65
Norma UNE-EN-60300.....	66
SAE JA1012 e ISO 14224.....	67
METODOLOGÍA.....	68
Métodos de Recolección de Información .....	68
Participantes .....	69
Métodos de Recolección de Datos .....	69
Diseño Muestral.....	70
Procedimiento de Levantamiento de Información y su Procesamiento .....	70
Análisis de Datos .....	71

MARCO CONTEXTUAL.....	72
La Cosecha Mecanizada de la Caña de Azúcar en El Salvador .....	72
DIAGNÓSTICO Y CONCEPTUALIZACIÓN DEL DISEÑO.....	77
Prediagnóstico .....	77
Conclusión de Encuesta.....	77
Análisis de Entrevista 1 .....	79
Análisis de Entrevista 2 .....	80
Resumen de Entrevista 3 .....	81
Conclusión de entrevistas .....	82
Diagrama de Ishikawa .....	83
Conclusión Diagrama de Ishikawa.....	85
Análisis de Información Documental .....	86
Síntesis y Validación de la Problemática .....	90
Generación y Evaluación de Alternativas de Solución .....	93
Conceptualización del Diseño o Propuesta de Solución .....	95
DISEÑO DETALLADO .....	96
Metodología.....	96
Fase I: Valoración de los de Sistemas Críticos .....	97
Fase II: Identificación de Fallas y los Efectos de los Equipos Críticos.....	99
Fase III: Construcción del Plan de Mantenimiento .....	100

Resultados.....	102
Fase I: Valoración de los Equipos Críticos .....	102
Fase II: Identificación de fallas y los efectos de los equipos críticos.....	116
Aplicación de AMEF.....	116
Fase III: Construcción del Plan de Mantenimiento .....	123
Asignación de Actividades de Mantenimiento.....	127
Manuales Organizacionales.....	134
Plan de Capacitación .....	159
Evaluación de Riesgos.....	185
Comunicación.....	202
INVERSIÓN PARA EL PROYECTO Y FLUJO OPERATIVO .....	214
Costeo ABC para Inversión.....	214
ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO .....	243
EDT (Estructura De Desglose Del Trabajo).....	245
Descripción de Entregables del Proyecto .....	246
Políticas y Estrategias del Proyecto.....	250
Programación de las Actividades del Proyecto .....	251
ORGANIZACIÓN PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO.....	259
Tipos de Organizaciones .....	259
Equipo del Proyecto .....	263

EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	264
TMAR.....	265
VAN .....	270
TIR.....	270
BENEFICIO-COSTO.....	272
PRI.....	273
EVALUACIÓN AMBIENTAL-SOCIAL.....	274
CONCLUSIONES.....	301
RECOMENDACIONES .....	303
GLOSARIO .....	304
BIBLIOGRAFÍA.....	305
ANEXOS .....	309

### **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Cosechadoras Banda.....	53
Tabla 2. Cosechadoras Llantas .....	54
Tabla 3. Características técnicas del Autovolteo Metagro HD25. ....	58
Tabla 4. Características de Autovolteo HD35 METAGRO .....	58
Tabla 5. Características de Tractor John Deere 6125E. ....	61
Tabla 6. Características de tractor CASE FAEMALL 130 <sup>a</sup> .....	61
Tabla 7. Toneladas molidas y porcentaje de cosecha mecanizada por ingenio zafra 22/23.	72

Tabla 8. Datos históricos de la cosecha mecanizada en El Salvador .....	73
Tabla 9. Inventario de maquinaria de cosecha mecanizada en El Salvador, zafra 22/23 .....	74
Tabla 10. Inventario histórico de cosechadoras en El Salvador .....	75
Tabla 11. Eficiencia de operación de cosecha mecanizada, zafra 22/23 .....	76
Tabla 12. Escenarios planteados de disponibilidad .....	89
Tabla 13. Puntos relevantes de Archivo de Registros de Fallas de maquinaria de cosecha mecanizada de caña de azúcar .....	102
Tabla 14. Costos de mantenimiento de cosechadoras en zafra 22/23 .....	104
Tabla 15. Disponibilidad mecánica Z22/23.....	105
Tabla 16. Análisis de Pareto por razón de paro (Eventos) .....	106
Tabla 17. Análisis de Pareto por razón de paro (Tiempo en horas) .....	109
Tabla 18. Subsistemas críticos .....	115
Tabla 19. Costos asociados al software .....	219
Tabla 20. Costos asociados a los insumos de oficina .....	221
Tabla 21. Costos asociados al uso de los equipos .....	223
Tabla 22. Costos asociados al personal directo-indirecto .....	226
Tabla 23. Costos asociados a los viáticos.....	227
Tabla 24. Resumen de los costos.....	229
Tabla 25. Costos asociados a los productos (Fases).....	231
Tabla 26. Resumen de costo de insumos y repuestos actualmente .....	233
Tabla 27. Resumen de ahorros anuales con el plan implementado .....	234
Tabla 28. Resumen de horas hombre invertidas por fallas de los sub sistema critico.....	236
Tabla 29. Resumen de ahorro en costos de mano de obra con el plan propuesto .....	238

Tabla 30. Resumen de ahorro por traslados de máquinas del campo al taller con la implementación del plan.....	239
Tabla 31. Resumen de ahorro proyectado con la implementación del plan .....	241
Tabla 32. Proyecciones de ahorro con implementación del plan para el sector azucarero .	243
Tabla 33. Holguras y criticidad de las actividades .....	257
Tabla 34. Costo de capacitación anual del plan.....	264
Tabla 35. Costo por supervisión y ejecución del plan.....	265
Tabla 36. Resumen de los flujos a utilizar para la evaluación económica .....	265
Tabla 37. Aporte de las fuentes de financiamiento y sus TMAR.....	269
Tabla 38. Análisis de resultados TIR.....	271
Tabla 39. Ventajas y comparación de la cosecha mecanizada vs la cosecha tradicional ...	278
Tabla 40. Eventos de componentes del sistema hidráulico afectados ocasionando derrames de aceite .....	283
Tabla 41. Resumen de reducción de derrames de aceite con la implementación del plan.	283
Tabla 42. Impacto en la SSO con la implementación del plan.....	288
Tabla 43. Matriz de Leopold para evaluación del impacto ambiental del plan.....	293
Tabla 44. Matriz de seguimiento de la implementación.....	298
Tabla 45. Matriz de seguimiento de la ejecución .....	300

## **ÍNDICE DE CUADROS**

Cuadro 1. Evolución del mantenimiento .....	8
Cuadro 2. Áreas y tareas involucradas en el mantenimiento.....	10
Cuadro 3. Datos relacionados a la disponibilidad mecánica .....	87
Cuadro 4. Síntesis de la problemática .....	91
Cuadro 5. Alternativas de evaluación evaluadas .....	94

Cuadro 6. AMEF Conjunto picador/trozador.....	117
Cuadro 7. AMEF Sistema de Base Cortadora.....	118
Cuadro 8. AMEF Extractor primario.....	119
Cuadro 9. AMEF Sistema de rodaje/Banda o Llanta.....	120
Cuadro 10. AMEF Sistema Eléctrico.....	121
Cuadro 11. AMEF Sistema Hidráulico.....	122
Cuadro 12. RCM Conjunto Picador/Trozador.....	128
Cuadro 13. RCM Sistema de Base Cortadora.....	129
Cuadro 14. RCM Extractor primario.....	130
Cuadro 15. RCM Sistema de Rodaje/Banda o Llanta.....	131
Cuadro 16. RCM Sistema Eléctrico.....	132
Cuadro 17. RCM Sistema Hidráulico.....	133
Cuadro 18. Plan de capacitación para técnicos mecánicos de cosechadoras.....	164
Cuadro 19. Criterios de evaluación de factores de riesgo.....	186
Cuadro 20. Criterios de evaluación de factores de riesgo.....	186
Cuadro 21. Matriz de evaluación de riesgos.....	187
Cuadro 22. Matriz de riesgo de la operación de cosecha mecanizada.....	189
Cuadro 23. Riesgos externos o ambientales que impactan en la disponibilidad de la maquinaria.....	195
Cuadro 24. Formato de programación semanal de revisión de maquinaria, basado en RCM.....	209
Cuadro 25. Formato de programación mensual de revisión de maquinaria, basado en RCM.....	212
Cuadro 26. Descripción de los paquetes de trabajo.....	248

Cuadro 27. Políticas y estrategias de los entregables .....	250
Cuadro 28. Actividades, duración y costos del proyecto .....	251
Cuadro 29. Costos indirectos del proyecto .....	254
Cuadro 30. Comparación de los diferentes tipos de estructuras organizativas .....	261
Cuadro 31. Características de los diferentes tipos de organizaciones de proyecto .....	262
Cuadro 32. Plan de manejo de maquinaria en campo.....	286
Cuadro 33. Rango de juicio del impacto ambiental.....	292
Cuadro 34. Indicadores KIP'S para la implementación .....	297
Cuadro 35. . Indicadores KIP'S para la ejecución.....	299

### **ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1. Posición de mantenimiento en la estructura organizativa .....	11
Ilustración 2. Fases de implementación del modelo RCM.....	28
Ilustración 3. Diagrama de decisión RCM .....	33
Ilustración 4. Evaluación de las consecuencias para la matriz RCM .....	34
Ilustración 5. Criterios de decisión sobre beneficios e inconvenientes en la hoja RCM.....	35
Ilustración 6. Preguntas para determinar la viabilidad en la hoja RCM.....	36
Ilustración 7. Resumen sobre cómo responder las preguntas para el llenado de la hoja RCM .....	37
Ilustración 8. Cosechadora John Deere CH570 Banda (Track).....	53
Ilustración 9. Cosechadora CASE A9900 Banda (Track) .....	53
Ilustración 10. Cosechadora John Deere CH570 Llantas (Wheels) .....	53
Ilustración 11. Cosechadora CASE 9900 Llantas (Wheels).....	53
Ilustración 12. Dimensiones de cosechadora marca John Deere.....	54
Ilustración 13. Dimensiones de una cosechadora marca CASE.....	55

Ilustración 14. Circuito de levante del autovolteo.....	57
Ilustración 15. Circuito de inclinación del autovolteo.....	57
Ilustración 16. Autovolteo METAGRO HD35 .....	57
Ilustración 17. Autovolteo METAGRO HD25 .....	57
Ilustración 18. Autovolteo CIVEMASA TAC10500. ....	59
Ilustración 19. Tractor John Deere modelo 6125E.....	60
Ilustración 20. Secuencia de resolución del RCM.....	66
Ilustración 21. Diagrama de Ishikawa conclusión de encuesta y entrevistas .....	84
Ilustración 22. Análisis de disponibilidad mecánica actual.....	86
Ilustración 23. Conceptualización del Diseño o propuesta de solución .....	95
Ilustración 24. Gráfico de relación entre elementos del plan de mantenimiento .....	125
Ilustración 25. Estructura organizativa del área de Cosecha Mecanizada.....	138
Ilustración 26. Pirámide de tratamiento de riesgo .....	188
Ilustración 27. Diagrama de información, solicitante-digitador.....	202
Ilustración 28. Diagrama de información, digitador-técnico.....	203
Ilustración 29. Diagrama de información, responsable de mantenimiento-técnico .....	203
Ilustración 30. Diagrama de información, responsable de mantenimiento-programador de repuestos .....	204
Ilustración 31. Diagrama de información, responsable de mantenimiento-digitador.....	204
Ilustración 32. Diagrama de información, técnico-digitador.....	205
Ilustración 33. Diagrama de información, técnico-programador de repuestos.....	205
Ilustración 34. Formato de ejecución de revisión basada en RCM .....	207
Ilustración 35. Diagrama de proceso, ejecución de mantenimiento RCM .....	208
Ilustración 36. Diagrama de proceso, programación de mantenimiento semanal RCM ....	210

Ilustración 37. Diagrama de proceso, programación mensual de mantenimiento RCM....	213
Ilustración 38. EDT del proyecto .....	245
Ilustración 39. Diagrama red CPM del proyecto.....	256
Ilustración 40. Diagrama Gantt del proyecto.....	259
Ilustración 41. Organigrama de la organización del proyecto.....	263
Ilustración 42. Diagrama de flujo de los movimientos económicos anuales para la empresa en el periodo de estudio .....	269

### **ÍNDICE DE GRAFICAS**

Grafica 1. Gráfico del histórico de participación de cosecha mecanizada .....	73
Grafica 2. Comparativo de número de cosechadoras versus el corte manual requerido (zafra 18/19 a 22/2023).....	75
Grafica 3. Eficiencia de operación de cosecha mecanizada, zafra 22/23 .....	76
Grafica 4. Disponibilidad mecánica de las cosechadoras en la Z22/23.....	105
Grafica 5. Ocurrencia por razón de paro (eventos) .....	108
Grafica 6. Duración y razones de paro (tiempo en horas) .....	111
Grafica 7. Eficiencia de cosechadoras por proveedor .....	112
Grafica 8. Rendimiento de combustible de cosechadoras por zona y proveedor .....	113
Grafica 9. Número de eventos por tipo de paro.....	114
Grafica 10. Subsistemas con mayor frecuencia de falla.....	116
Grafica 11. Resumen de ahorros anuales con el plan implementado .....	234
Grafica 12. Comparación de costos actuales vs los proyectados con la implementación del plan .....	241
Grafica 13. Proyección de ahorros .....	242
Grafica 14. Comportamiento de la TIR y TMAR .....	272

Grafica 15. Resumen de la evaluación económica .....	273
Grafica 16. Reducción de los derrames de aceite en campo .....	284

## INTRODUCCIÓN

El sector azucarero desempeña un papel fundamental en la economía de muchos países, incluido El Salvador, donde la producción de azúcar no solo genera ingresos significativos, sino que también emplea a un número considerable de personas en diferentes etapas de su cadena productiva. En este contexto, los ingenios azucareros enfrentan el reto constante de mejorar sus procesos para maximizar la eficiencia, reducir los costos y minimizar los impactos ambientales. Uno de los procesos más críticos y desafiantes en este sector es la cosecha de caña de azúcar, que ha evolucionado progresivamente hacia una operación mecanizada debido a la necesidad de satisfacer la alta demanda, optimizar el tiempo y reducir la dependencia de la mano de obra, especialmente en épocas de alta actividad agrícola.

La mecanización de la cosecha, aunque presenta múltiples ventajas en términos de velocidad y volumen de procesamiento, también introduce desafíos importantes relacionados con el mantenimiento y la fiabilidad de la maquinaria. Las cosechadoras de caña son equipos complejos que operan en condiciones exigentes, enfrentando factores como el desgaste acelerado, la exposición a elementos externos y el funcionamiento continuo durante las zafas. Estos factores generan una alta frecuencia de fallas en los sistemas críticos de la maquinaria, lo cual interrumpe las operaciones, incrementa los costos de mantenimiento y afecta la disponibilidad de los equipos, impactando negativamente en la producción.

Ante esta problemática, el presente trabajo propone la implementación de un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) específico para las cosechadoras del sector azucarero en El Salvador. El enfoque RCM no solo se limita a realizar mantenimiento preventivo tradicional, sino que busca comprender en profundidad los modos de falla específicos de cada componente crítico de la maquinaria, evaluando tanto las causas como

los efectos de dichas fallas sobre el rendimiento de la operación. La metodología utilizada, el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), permite identificar y priorizar los subsistemas que presentan el mayor riesgo de falla, facilitando la toma de decisiones informadas para diseñar estrategias de mantenimiento que aseguren una mayor fiabilidad de la maquinaria.

El desarrollo de este plan de mantenimiento incluyó la recolección y análisis exhaustivo de datos históricos de fallas, tiempos de parada y costos de mantenimiento asociados a las cosechadoras de la empresa. Dichos datos proporcionaron una visión detallada sobre el comportamiento de cada sistema en la maquinaria, identificando los subsistemas que requirieron intervenciones más frecuentes y los componentes donde se concentran los mayores costos de reparación y reemplazo. Además de las estrategias de mantenimiento, este trabajo propone un programa de capacitación para el personal técnico, enfocado en la comprensión y aplicación de los principios de RCM y AMEF.

Finalmente, el estudio presenta una evaluación de costos que proyecta los beneficios económicos de implementar el plan RCM en el ingenio. La reducción de fallas críticas y tiempos de parada se traduce en un ahorro considerable en costos operativos, ya que se espera una disminución en los gastos relacionados con el uso de insumos y repuestos, la mano de obra y los servicios logísticos, como los traslados frecuentes de maquinaria al taller. Además, se proyecta un impacto ambiental positivo, dado que el menor número de fallas reducirá la frecuencia de derrames de fluidos hidráulicos y otros contaminantes, lo cual contribuye a una operación más sostenible y responsable con el entorno.

En conclusión, esta investigación ofrece una solución integral y estructurada que no solo aborda los problemas actuales de fiabilidad en la maquinaria de cosecha, sino que también sienta las bases para un proceso de mantenimiento más efectivo y sostenible en el futuro. La

implementación del plan RCM, respaldada por un análisis profundo de datos y una capacitación continua del personal, representa una oportunidad para optimizar la operación de cosecha mecanizada, logrando una mayor competitividad y sostenibilidad en un sector de alta demanda como el azucarero.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Diseñar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para las cosechadoras del sector azucarero de El Salvador, con el propósito de optimizar la disponibilidad de los equipos y reducir los costos de mantenimiento asociados a fallas recurrentes en los sistemas críticos.

### **Objetivos Específicos**

- ✓ Identificar y clasificar los subsistemas críticos de las cosechadoras mediante el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF).
- ✓ Determinar las principales causas de fallas y sus efectos sobre la operación de la maquinaria.
- ✓ Establecer estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo basadas en los hallazgos del AMEF para reducir tiempos de inactividad.
- ✓ Proponer programas de capacitación para el personal técnico en procedimientos y prácticas de mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- ✓ Evaluar los costos actuales de mantenimiento y proyectar los ahorros potenciales derivados de la implementación del plan RCM.

## **ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **Alcances**

El alcance de este proyecto abarca el diseño y evaluación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para las cosechadoras utilizadas para la cosecha de caña de azúcar en El Salvador. Incluye el análisis de los sistemas críticos, la identificación de modos de falla, la aplicación del AMEF y el desarrollo de estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo. Este trabajo se limita a los subsistemas que representan los mayores tiempos de inactividad y costos, específicamente aquellos relacionados con el conjunto picador, sistema hidráulico y base cortadora.

La implementación del plan incluye una fase piloto de prueba, en la cual se validarán las estrategias propuestas en condiciones operativas reales, permitiendo realizar ajustes según los resultados obtenidos y optimizando la aplicación final del mantenimiento RCM. Además, el proyecto incorpora una evaluación económica integral, que analiza el impacto financiero de la implementación del plan mediante el cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Valor Actual Neto (VAN), la relación Costo-Beneficio y la Tasa Mínima Aceptable de Retorno (TMAR), proporcionando así una base sólida para la toma de decisiones y garantizando la viabilidad económica del plan de mantenimiento.

### **Limitaciones**

La investigación presenta las siguientes limitaciones:

1. La falta de registros históricos completos sobre fallas previas en algunos subsistemas, lo que limitó el análisis exhaustivo de tendencias.
2. La disponibilidad de maquinaria para pruebas fue restringida a periodos específicos de inactividad, afectando la realización de ciertas evaluaciones prácticas en campo.

3. La implementación completa del plan de mantenimiento RCM dependerá de la disponibilidad de recursos y del compromiso de la empresa para adoptar los cambios recomendados en este estudio.
4. Los costos de mantenimiento y las proyecciones de ahorro fueron calculados utilizando información proporcionada por un ingenio del sector, lo cual puede variar en función de las condiciones específicas de cada empresa.

## **ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO**

### **Generalidades de Mantenimiento**

El mantenimiento es el proceso que se lleva a cabo para que un elemento, o unidad de producción, pueda continuar funcionando a un rendimiento óptimo.

Además, es un servicio que agrupa una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles, instalaciones. La labor del departamento de mantenimiento, está relacionada muy estrechamente en la prevención de accidentes y lesiones en el trabajador ya que tiene la responsabilidad de mantener en buenas condiciones, la maquinaria y herramienta, equipo de trabajo, lo cual permite un mejor desenvolvimiento y seguridad evitando en parte riesgos en el área laboral.

La falta de mantenimiento o un mantenimiento inadecuado puede provocar situaciones peligrosas, accidentes y problemas de salud para su equipo. El mantenimiento es una actividad de alto riesgo. Debe ser realizada de una forma segura, es decir, todo profesional tiene que estar capacitado.

## *Historia del Mantenimiento*

A finales del siglo XVIII y principios del XIX durante la revolución industrial con las primeras máquinas se iniciaron los trabajos de reparación y así mismo los conceptos de competitividad, costes entre otros. De la misma manera comenzaron a tomar en cuenta el término de fracaso y comenzaron a darse cuenta de que esto producía paras en la producción. Tal fue la necesidad de comenzar a controlar estas fallas que en la década de 1920 comenzaron a aparecer las primeras estadísticas sobre las tasas de fallas en motores y equipos de aviación.

Por lo tanto, podemos concluir que la historia del mantenimiento va de la mano con el desarrollo técnico-industrial, ya que con las primeras máquinas comenzó la necesidad de las primeras reparaciones. La mayoría de los fallos que se presentaron en ese momento fueron el resultado del abuso o de los grandes esfuerzos a los que fueron sometidas las máquinas. En ese momento el mantenimiento se hizo hasta que fue imposible continuar usando el equipo. Hasta 1914, el mantenimiento era de importancia secundaria y era realizado por el mismo personal de operación y producción.

Con la llegada de la Primera Guerra Mundial y la puesta en marcha de una producción en serie, las fábricas de Pasos tuvieron que establecer programas de producción mínimos por lo que empezaron a sentir la necesidad de crear equipos que pudieran realizar el mantenimiento de las máquinas de la línea de producción en el menor tiempo posible.

Así surgió un órgano subordinado a la operación, cuyo objetivo básico era la ejecución del mantenimiento conocido hoy como “mantenimiento correctivo”. Esta situación se mantuvo hasta la década del año 50.

No fue hasta 1950 que un grupo de ingenieros japoneses iniciaron un nuevo concepto de mantenimiento que simplemente siguió las recomendaciones de los fabricantes de equipos

sobre el cuidado que se debe tener en la operación y mantenimiento de las máquinas y sus dispositivos. Esta nueva forma o tendencia de mantenimiento se llama “mantenimiento preventivo”.

A partir de 1966 con el fortalecimiento de las asociaciones nacionales de mantenimiento creadas al final del período anterior, y que la sofisticación de los instrumentos de protección y medición, ingeniería de mantenimiento, comenzó a desarrollar criterios para la predicción de fallas, visualizando así la optimización del rendimiento de los equipos de ejecución de mantenimiento.

Estos criterios se conocían como “mantenimiento predictivo” y se asociaban a métodos de planificación y control del mantenimiento. Además de otros tipos de mantenimiento como el “mantenimiento productivo”, que fue una nueva tendencia que determinó una perspectiva más profesional. Se asignaron más responsabilidades a las personas relacionadas con el mantenimiento y se hicieron consideraciones sobre la fiabilidad y el diseño de los equipos de la planta.

Diez años, la globalización del mercado se produjo creando nuevos modelos de mantenimiento para lograr una mejor calidad y una mejor excelencia. Estos modelos lo son: TPM, MGM y RCM.

La evolución del mantenimiento a través de los años se presenta en el cuadro 1:

*Cuadro 1. Evolución del mantenimiento*

Evolución del mantenimiento	
Antes de 1900	El mantenimiento no tenía importancia.
Inicio 1914-1930	Surge la primera necesidad de reparar las máquinas.
Primera generación 1930-1950	Se gestiona el mantenimiento hacia las maquinas.

Segunda generación entre 1950-1960	Gestión del mantenimiento hacia la producción.
Tercera generación entre 1960-1980	Gestión del mantenimiento hacia la productividad.
Cuarta generación entre 1980- 1999	Gestión del mantenimiento hacia la competitividad.
Quinta generación entre 2000-2003	Gestión de mantenimiento hacia la organización e innovación tecnológica industrial.
Sexta generación entre 2003...	Gestión de mantenimiento en busca de la mejora generación.

*Fuente: elaboración propia.*

### ***Objetivos del Mantenimiento***

En el caso del mantenimiento en general la organización e información se encuentra encaminada permanente a la consecución de algunos objetivos:

- ✓ Disponibilidad de los equipos, con la finalidad de cuantificar cuanto tiempo la maquina está funcionando de manera correcta, ya que a mayor disponibilidad se puede producir más y obtener mayor rendimiento sobre los activos.
- ✓ Disminución de los costos de mantenimiento a través de la reducción o eliminación de los mantenimientos reactivos.
- ✓ Optimización de los recursos humanos, esto significa capacitar al personal operativo para la utilización correcta de la maquinaria.
- ✓ Todo lo antes mencionado se resume en la maximización de la vida de la maquinaria.

### ***Planificación y Programación de Mantenimiento***

La organización del mantenimiento debe contar con el recurso humano necesario para satisfacer eficientemente los requerimientos de dicho departamento, con líneas de mando y áreas de responsabilidad bien definidos.

La estructura del departamento varía de acuerdo a muchos factores, entre los cuales podemos mencionar: tamaño de la empresa (pequeña, mediana y gran empresa); tipo de producción (bienes y/o servicios); tipo de proceso productivo; existen algunos procesos que

ocupan muchas máquinas pequeñas, como en la industria de la confección y otras con muy pocas máquinas generalmente grandes, como las grandes bordadoras lineales; máquinas impresoras (prensas).

Otro factor importante es dimensionar la variedad de tareas que comprende el área de mantenimiento entre ellas están las que se presentan en el cuadro 2:

*Cuadro 2. Áreas y tareas involucradas en el mantenimiento*

Área Mecánica	Instalación de maquinaria Mantenimiento general de la maquinaria Soldadura Localización de fallas Reparación de maquinaria Compresores Lubricación etc.
Área Eléctrica	Motores eléctricos Conexiones e iluminación Cajas de conexión Subestaciones Líneas de eléctricas
Área Mantenimiento General (Edificios)	Revisión y reparación de techos Revisión y reparación de paredes Carpintería Albañilería Pintura Ventilación etc.

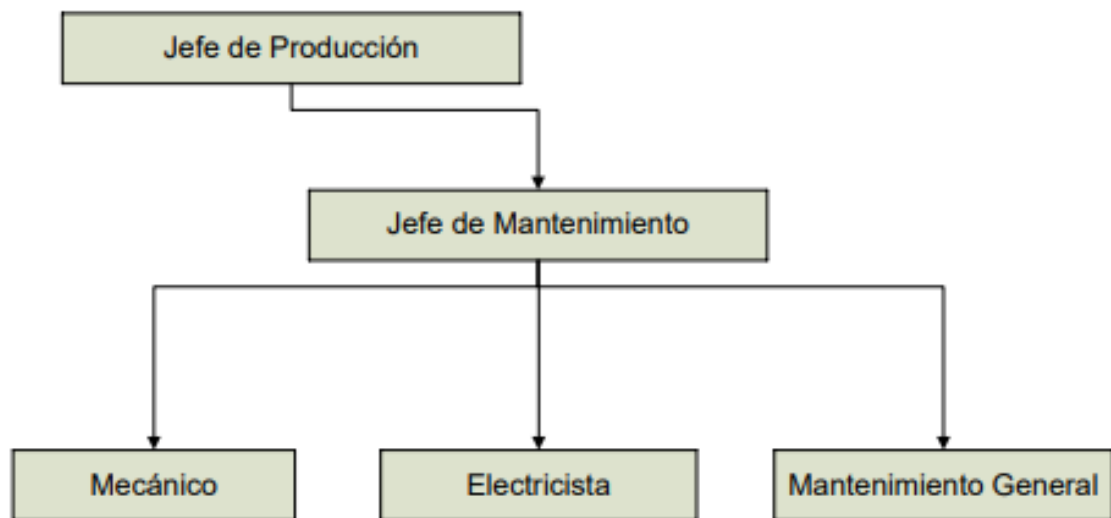
*Fuente: elaboración propia.*

Como puede notarse, toda empresa debe dar atención a las áreas anteriores, pero de acuerdo a su tamaño. Es posible que una empresa grande pueda tener equipos de especialistas para cada área anteriormente mencionada, pero para una empresa pequeña no es factible.

Generalmente la mayor parte del tiempo de mantenimiento es dedicado a la reparación de la maquinaria productiva, en su parte mecánica, así como eléctrica. El esfuerzo se concentra en "reparar" rápido la maquinaria para que continúe produciendo. Este accionar

de urgencia es muy importante y debe ser efectivo, ¿Pero será esto lo mejor? Cuánto nos cuesta hacer reparaciones de emergencia, en términos de repuestos, daños a la maquinaria, tiempo perdido muy frecuentemente, productos de mala calidad y horas extra. El costo es enorme, muchas veces incontrolable. Por consiguiente, una parte clave del mantenimiento es disminuir las reparaciones accidentales y esto se logra a través de un mantenimiento preventivo. Generalmente el departamento o sección de mantenimiento está ubicado dentro del área de producción; mantenimiento debe tener una persona que se encargue de la coordinación del mismo.

*Ilustración 1. Posición de mantenimiento en la estructura organizativa*



*Fuente: Repositorio Universidad de El Salvador Mantenimiento Productivo*

En esta estructura el jefe de Producción asigna los trabajos al jefe de mantenimiento, definiendo prioridades; trabajos de emergencia, trabajos urgentes y trabajos normales.

**Trabajos de emergencia:** son aquellos que deben ejecutarse inmediatamente para prevenir pérdidas de producción, averías serias en la maquinaria y equipos o para corregir peligros extremos en la seguridad.

**Trabajos urgentes:** aquellos que durante la programación normal deben terminarse lo antes posible.

**Trabajos normales:** son la mayoría de los trabajos de mantenimiento. Se programan tomando en cuenta los requerimientos de producción y la disponibilidad de la fuerza de trabajo de mantenimiento. Se define fecha y hora de inicio y fecha y hora de finalización, además de recursos.

El jefe de mantenimiento asigna y coordina los trabajos de acuerdo a las prioridades del día y al personal disponible; para algunas pequeñas empresas, el jefe de mantenimiento es el mecánico jefe, disponiendo de un asistente; encargándose de todas las reparaciones mecánicas, eléctricas y algunos trabajos de mantenimiento general.

También es usual que trabajos muy delicados que requieren maquinaria especial como, tornos y fresadoras; en la parte mecánica, sean subcontratados a otros talleres especializados, pues no es rentable la adquisición de dicha maquinaria. Lo mismo sucede con algunos trabajos eléctricos y de mantenimiento general.

El problema fundamental a resolver por cada empresa es como mantener la maquinaria, equipo e instalaciones en condiciones óptimas de funcionamiento, con mínimos paros en la maquinaria y alargar la vida útil de la misma. Tomando en cuenta los costos, es decir, como lograr los objetivos anteriores de manera eficiente.

### ***Finalidad del Mantenimiento***

Al aplicar un plan de mantenimiento sin importar el área al que este se aplique generalmente se busca mantener la mayor parte del tiempo trabajando sus equipos, además de restablecer las condiciones predeterminadas de la maquinaria; de manera eficiente y eficaz para obtener una máxima productividad. Finalmente, el mantenimiento espera obtener

resultados positivos en su maquinarias y tiempos de producción. A continuación, se presenta un listado de la finalidad de todo mantenimiento aplicado correctamente:

- ✓ Evitar, reducir y llegado el caso, reparar las fallas sobre los bienes de la organización.
- ✓ Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.
- ✓ Evitar detenciones inútiles o paros de máquinas.
- ✓ Evitar accidentes.
- ✓ Evitar daños ambientales.
- ✓ Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- ✓ Conservar los bienes producidos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- ✓ Balancear el costo del mantenimiento con el correspondiente al lucro cesante.
- ✓ Lograr un uso eficiente y racional de la energía.
- ✓ Mejorar las funciones y la vida útil de los bienes.

### ***Costos de Mantenimiento***

Los costos de mantenimiento es la suma de todos los gastos incurridos para su desempeño, durante un período de tiempo (un mes, un año). Así podemos clasificarlo en costos directos y costos indirectos.

Los costos directos son aquellos que se producen como resultado directo de los trabajos de mantenimiento, teniendo entre estos costos los siguientes:

- ✓ Mano de obra utilizada, medida en horas hombre y traducida a (\$)
- ✓ Repuestos, medida en unidades y luego a (\$)
- ✓ Otros materiales, medidas en unidades y luego a (\$)
- ✓ Otros gastos generales: energía eléctrica, administración, etc.

Estos costos directos son fácilmente medibles a través de controles adecuados, ya sea por trabajo realizado que implique un reporte, que contenga lo siguiente:

- ✓ Tipo de trabajo a realizar
- ✓ Horas-hombre utilizadas
- ✓ Periodo de reparación
- ✓ Repuestos utilizados
- ✓ Otros materiales utilizados

Costos indirectos son aquellos que no pueden atribuirse de una manera directa a una operación o trabajo específico. En mantenimiento, es el costo que no puede relacionarse a un trabajo específico. Por lo general, suelen ser:

- ✓ La supervisión
- ✓ Almacén
- ✓ Instalaciones
- ✓ Servicio de taller
- ✓ Accesorios diversos
- ✓ Administración
- ✓ Servicios públicos, etc.

### ***Clasificación de las Fallas Según la Vida Útil de la Maquinaria***

Según el momento de la vida útil de un bien en el que aparecen las fallas, se pueden clasificar en:

Fallas tempranas: las que aparecen al comienzo de la vida útil del elemento y constituyen un pequeño porcentaje del total de las fallas. Se presentan generalmente en forma repentina y pueden causar graves daños.

Fallas adultas: son fallas que presentan mayor frecuencia durante la vida útil. Son derivadas de las condiciones de operación y se presentan más lentamente que las anteriores.

Fallas tardías: representan una pequeña fracción del total de las fallas y ocurren en la etapa final de la vida útil del elemento.

### ***Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad***

Estos tres conceptos se pueden enfocar de forma previsional (antes del uso) o de manera operacional (durante o después del uso).

Las tres funciones precedentes, llamadas respectivamente R (t), M (t), D (t), son funciones de tiempo. En mantenimiento es indispensable precisar la noción de tiempo.

a) La "vida de una maquina" comprende una alternancia de paros y de "buen funcionamiento", durante su duración potencial de utilización (= tiempo requerido =  $t_o - t_l = T O$ ). Estas duraciones pueden ser observadas o estimadas. Una parte (variable) de los TA (tiempos de paro) está constituida por los TTR (tiempos técnicos de reparación).

b) Indicador de disponibilidad

$$\hat{D} = \frac{TO - \sum TA}{TO}$$

c) MTBF y MTTR La MTBF, o media de los tiempos de buen funcionamiento, es el valor medio entre paros consecutivos, para un periodo dado de la vida de un dispositivo:

$$MTBF = \frac{\sum_0^n TBF_i}{n}$$

De la misma forma, la MTTR (o media de los tiempos técnicos de reparación) será:

$$MTTR = \frac{\sum_{i=0}^n TBF_i}{n}$$

Estos valores pueden ser calculados (después de observaciones), estimados, prefijados o extrapolados.

### ***Efectividad del Mantenimiento***

La confiabilidad es la probabilidad de que un bien funcione adecuadamente durante un período determinado, bajo condiciones operativas específicas (por ejemplo: condiciones de presión; t°; velocidad; nivel de vibración; tensión; etc.). En la práctica, la fiabilidad está medida como el tiempo medido en ciclos de mantenimiento o el tiempo medio entre dos fallas consecutivas (TMEF). Otro de los parámetros interesantes de conocer es la disponibilidad que se tiene del equipo a mantener:

- Disponibilidad = (TP – TI) / TP
- TP = tiempo programado de funcionamiento
- TI = tiempo de inactividad por falla
- La eficiencia de un bien de producción se define como:
- Eficiencia = Te/Tr
- Te = tiempo estándar para realizar una actividad
- Tr = tiempo real de funcionamiento

La calidad del servicio de mantenimiento es otra medida a tener en cuenta es:

- Índice de calidad = (CP – D) / CP
- CP = cantidad elaborada por el bien
- D = cantidad que presenta defectos

- La tasa de efectividad de mantenimiento es:
- Tasa de efectividad = disponibilidad x eficiencia x índice de calidad

### ***Tipos de Mantenimiento***

Los equipos, máquinas, sistemas e instalaciones han evolucionado y han cambiado a lo largo de los tiempos, haciéndose cada vez más sofisticados, exigiendo una mejora continua en los procesos de mantenimiento y un trabajo más riguroso por parte del gestor de mantenimiento.

Aunque haya habido una evolución de los equipos e instalaciones, las necesidades de mantenimiento siguen siendo semejantes.

El conjunto de acciones técnicas que permiten regular el funcionamiento normal de esos mismos equipos se presenta a continuación en los siguientes mantenimientos:

#### **Mantenimiento Correctivo**

Este mantenimiento es el tipo más antiguo que se conoce y era el único que se aplicaba hasta la primera guerra mundial, debido a que las máquinas y herramientas eran simples como para solo esperar que una falla se presentara.

Puede entenderse el mantenimiento correctivo como la simple reparación de algo averiado. Dada su naturaleza, su necesidad es imposible de predecir y planificar en el tiempo, de modo que suele implementarse en escenarios de urgencia o incluso de catástrofe, y suele implicar el cambio de piezas y repuestos del equipo, así como la asistencia de personal especializado.

El mantenimiento correctivo puede darse incluso cuando un equipo continúa funcionando, es decir, no siempre debe esperarse al colapso total, y tomando esto en cuenta se suele distinguir entre:

- ✓ El mantenimiento correctivo urgente o no planificado, que se lleva a cabo bajo un estado de urgencia o emergencia, es decir, como respuesta a un daño o desperfecto que ocurre de improviso y requiere solución inmediata.
- ✓ El mantenimiento correctivo urgente o no planificado, que se lleva a cabo bajo un estado de urgencia o emergencia, es decir, como respuesta a un daño o desperfecto que ocurre de improviso y requiere solución inmediata.
- ✓ El mantenimiento correctivo no urgente o planificado, que implica sólo los casos en que la falla o el desperfecto es descubierto, pero el equipo o la herramienta puede continuar trabajando (generalmente con menor efectividad o con mayores márgenes de riesgo), de modo que la reparación puede realizarse posteriormente.

### **Mantenimiento Preventivo**

El mantenimiento preventivo surge como oposición al mantenimiento correctivo. El cual en lugar de esperar a que se produzca una avería o un colapso en la maquina en el proceso, este mantenimiento tiene por objetivo prevenir que eso ocurra basado en técnicas o experiencia del gestor de mantenimiento que a la vez se encarga de la frecuencia de mantenimiento con base en una valoración de la vida útil del equipo y en las recomendaciones del fabricante. Ejemplos de acciones de mantenimiento preventivo incluyen revisiones periódicas, inspecciones, limpieza y lubricación de piezas.

#### Ventajas

- ✓ Este tipo de mantenimiento es imprescindible en los equipos esenciales al funcionamiento normal de la empresa. Es más, cuanto mayor es el riesgo asociado a una determinada avería, mayor es la necesidad de mantenimiento preventivo para aumentar la vida útil del activo y reducir el tiempo muerto no planificado.

## Desventajas

- ✓ Una desventaja es que no se basan en la condición real de los equipos, los planes de mantenimiento preventivo pueden, a veces, ser ineficientes y resultar en acciones de mantenimiento (incluyendo sustitución de piezas) innecesarias y que cuestan tiempo y dinero.

El efecto se agrava cuando un planteamiento preventivo es aplicado a activos de baja prioridad o bajo coste que podrían generar costes más bajos si solamente fueran reparados de manera reactiva.

## **Mantenimiento Predictivo**

El mantenimiento predictivo también conocido como mantenimiento según estado o según condición, surge como respuesta a la necesidad de reducir costes de los métodos tradicionales correctivo y preventivo de mantenimiento. La idea básica de esta filosofía de mantenimiento parte del conocimiento del estado de los equipos. De esta manera es posible, por un lado, reemplazar los elementos cuando realmente no se encuentran en buenas condiciones operativas, suprimiendo las paradas por inspección innecesarias y, por otro lado, evitar las averías imprevistas, mediante la detección de cualquier anomalía funcional y el seguimiento de su posible evolución.

La aplicación del mantenimiento predictivo se apoya en dos pilares fundamentales:

- ✓ Indicadores del estado del equipo con ayuda de herramientas tecnológicas.
- ✓ La vigilancia continua de los equipos.

La mayoría de los componentes de las máquinas avisan de alguna manera de su fallo antes de que este ocurra. Por lo tanto, si mediante el seguimiento de los parámetros funcionales adecuado es posible detectar prematuramente el fallo de algún componente de la

máquina, se podrá asegurar el funcionamiento correcto de la misma, observar su evolución y predecir la vida residual de sus componentes. El conjunto de técnicas que se ocupan del seguimiento y examen de estos parámetros característicos de la maquina se conoce como técnicas de verificación mecánica.

Entre las ventajas más importantes de este mantenimiento tenemos:

- ✓ Detectar e identificar precozmente los defectos que pudieran aparecer, sin necesidad de parar y desmontar la máquina.
- ✓ Observar aquellos defectos que solo se manifiestan sobre la maquina en funcionamiento.
- ✓ Seguir la evolución del defecto hasta que se estime que es peligroso.
- ✓ Permite elaborar un historial del funcionamiento de la maquina a través de sus años de vida útil y su relación con cualquier evento significativo.
- ✓ Programar la parada para la corrección haciéndola coincidir con un tiempo muerto o una parada de rutina.
- ✓ Prepara un suministro de repuestos y de mano de obra.
- ✓ Reduce el tiempo de reparación, ya que previamente se ha identificado el origen de la avería y los elementos afectados.

Sin embargo, una cosa es lo que predica la filosofía del mantenimiento predictivo y otra lo que realmente se puede esperar de su puesta en práctica. Las dificultades para su desarrollo pleno provienen de los mismos principios en los que se basa.

En primer lugar, no existe ningún parámetro funcional, ni si quiera una combinación de ellos, que sea capaz de reflejar exactamente el estado de una máquina, indicando de forma inmediata, mediante la aparición de signos identificadores, la presencia de un defecto.

En segundo lugar, no es viable una monitorización continua de todos los parámetros del equipo para todos los equipos de una instalación. En realidad, este número de parámetros debe estar limitado por el programa de mantenimiento, así como la proporción de máquinas implicadas. Además, la vigilancia continua se vuelve flexible hasta convertirlo en vigilancia periódica, reservando la monitorización solo para aquellos equipos críticos del proceso.

Como consecuencia las limitaciones anteriores se resumen en los siguientes inconvenientes:

- ✓ Que el defecto ocurra entre el intervalo de tiempo comprendido entre dos medidas consecutivas.
- ✓ Que un defecto no sea detectado con la medición y análisis de los parámetros incluidos en el programa.
- ✓ Que, aun siendo detectado un defecto, este no sea diagnosticado correctamente o en toda su gravedad.

Que, aun habiendo realizado un diagnóstico correcto, no sea posible programar la parada de la máquina en el momento oportuno y sea preciso asumir el riesgo de fallo.

(GOMEZ DE LEON, 1998)

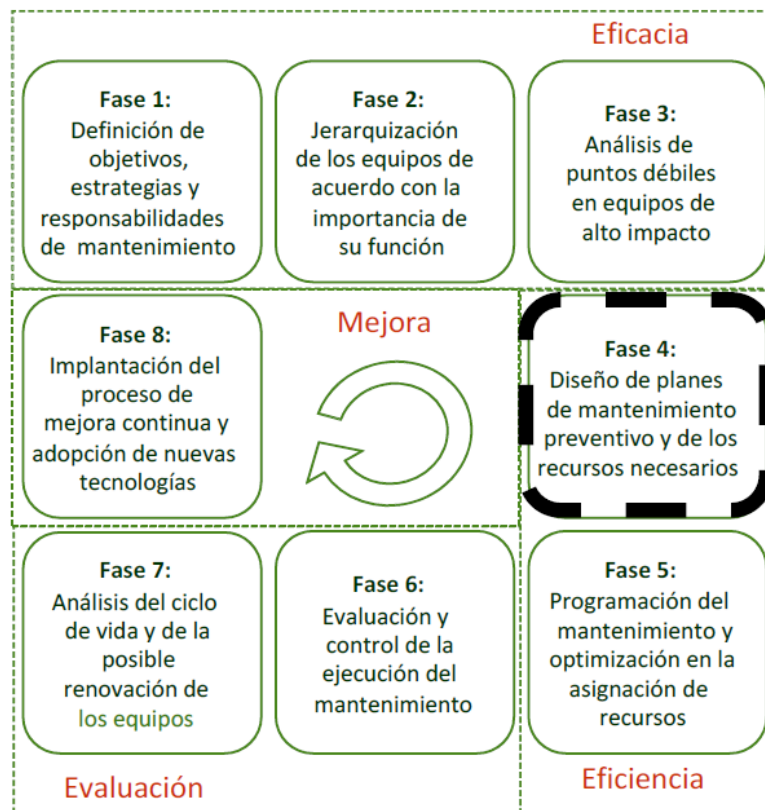
### ***Modelos de Mantenimiento***

- ✓ **Mantenimiento productivo total (TPM):** es la traducción de TPM (Total Productive Maintenance). El TPM es el sistema japonés de mantenimiento industrial desarrollado a partir del concepto de "mantenimiento preventivo". Se asume el término TPM con los siguientes enfoques: la letra M representa acciones de Management y Mantenimiento. Es un enfoque de realizar actividades de dirección y transformación de empresa. La letra P está vinculada a la palabra "Productivo" o

"Productividad" de equipos que se considera que se puede asociar a un término con una visión más amplia como "Perfeccionamiento". La letra T de la palabra "Total" se interpreta como "todas las actividades que realizan todas las personas que trabajan en la empresa". El TPM es un sistema orientado a lograr: cero accidentes laborales, cero defectos en la producción, cero averías en los equipos, mejorar la producción y minimizar los costos.

- ✓ **Modelo de Gestión de Mantenimiento (MGM).** Está compuesto por sus 8 fases:

*Imagen 1. Modelo de Gestión de Mantenimiento*



Tomando como referencia el Modelo de Gestión de Mantenimiento (MGM) de 8 fases (ver Figura 1.), esta sección relacionada con la técnica de Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (RCM), forma parte de la Fase 4 del MGM (Parra y Crespo, 2015).

- ✓ **Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM):** es una filosofía de gestión de Mantenimiento, desde que se ha implementado ha dejado reflejar una gran cantidad de resultados positivos en distintos sectores de la industria en donde se ha aplicado, tomando como ejemplo y referencia el sector aeronáutico, energético (petrolero, nuclear, hidroeléctrico) y minero principalmente. Ahora bien, se ha demostrado que la estrategia de mantenimiento funciona y se ha querido llevar a sectores que no tengan auge y que su implementación pueda ser más sencilla, pero igualmente efectiva. El principal problema que encuentra las industrias y el por qué se busca implementar esta metodología es principalmente la prevención, identificación y la mitigación de posibles fallas funcionales que puedan presentar los activos en distintos ámbitos de trabajo para evitar paradas no programadas, pérdidas y detenciones en la producción

### **Ventajas de Aplicar el Modelo de Mantenimiento RCM**

- ✓ La mejora de la seguridad. La primera de estas ventajas es la mejora que se produce en la seguridad de la planta, es decir, en la prevención de los riesgos derivados del trabajo. Al identificar, categorizar y tratar de evitar todos los fallos potenciales de la instalación con posibilidades de causar daños a las personas implícitamente se está trabajando de forma efectiva en la prevención de riesgos, de una manera realmente eficaz y detallada.
- ✓ La mejora del impacto ambiental. Esta ventaja está relacionada con la mejora del impacto ambiental, por las mismas razones expresadas en el párrafo anterior: al estudiar los fallos con implicación medioambiental y tener que prever formas de

solucionarlos se está sentando las bases para evitar los accidentes y fallos con una afectación negativa al medio ambiente.

- ✓ La disminución de costos de mantenimiento. Esta es una de las ventajas que mayor relevancia presenta para las empresas, el hecho de revisar, desmontar o cambiar piezas más a menudo de lo necesario no solo no contribuye a mejorar los resultados de fiabilidad y a disminuir los fallos en los equipos, sino que, por el contrario, inducen fallos en éstos que antes no tenían. Los mecánicos más experimentados trabajan en muchas ocasiones con una máxima: ‘si funciona no lo toques’. Esta máxima, a veces muy discutida, se ve avalada por datos estadísticos que demuestran que el hecho de revisar un equipo y actuar sobre él reinicia el periodo de fallos infantiles. Uno de los aportes más interesantes de la metodología RCM es que determina que el mantenimiento sistemático solo es necesario en determinados equipos cuyos fallos resultan críticos; incluso en éstos, si una tarea de carácter condicional (tareas de inspección tras las que se actúa únicamente si se detectan síntomas de que se esté gestando un posible fallo) es suficientemente efectiva para evitar el fallo o sus consecuencias no son necesarias para realizar tareas de reacondicionamiento o de cambio sistemático de piezas. Por supuesto, esto tiene una consecuencia inmediata en los costes: revisar la planta, realizando sustituciones sistemáticas o reacondicionamientos tiene un coste muy elevado, que solo está justificado en determinados equipos. Si se identifican tareas de mantenimiento condicionales suficientemente efectivas los costes de mantenimiento disminuyen, obteniendo adicionalmente un aumento en la disponibilidad y fiabilidad de la planta.

- ✓ Rendimiento operativo mejorado. Con el mapeo de información es más fácil tener el control y, de esta forma, es posible elegir las mejores prácticas de mantenimiento a adoptar. El desempeño operativo de la industria gana más calidad, lo que se refleja en los demás procesos.

### **Generalidades del Modo y Efecto de Falla (AMEF)**

Un AMEF es una técnica que tiene como objetivo la búsqueda de todos los efectos de falla y sus causas antes de que ocurran, el proceso para identificar fallos se hace de manera sistemática, asegura que no se malgaste tiempo y esfuerzo en síntomas en lugar de causas reales. Puede ser considerado como una herramienta para detectar y eliminar problemas que afecten el funcionamiento y rendimiento de la organización.

A este tipo de fallas se les conoce como fallas funcionales ya que ocurren impidiendo que el activo cumpla su función de acuerdo a los parámetros considerados como aceptables por el usuario o para los que fue diseñado.

Luego de identificar los tipos de fallas hay que identificar los hechos que pudieron llevar a la falla, a estos hechos se les llama modos de falla.

Para comprender de mejor manera el proceso de llenado de hojas se presenta la información de cada una de ellas:

**Sistema/Sub sistema:** se trata el subsistema al cual se pretende implementar AMEF y RCM, como resultado de la evaluación de prioridad obtenida en el Pareto.

**Modo de falla:** “Un modo de falla es cualquier suceso que cause una falla funcional” (Moubray, 2004, p. 53).

Para registrar los modos de falla se puede recurrir a cualquiera de estas fuentes:

- ✓ Fabricante.

- ✓ Experiencia profesional propia.
- ✓ Registros históricos propios.
- ✓ Equipos en plantas similares.
- ✓ Fuentes genéricas.

¿Qué modos de falla se deben registrar?

- ✓ Que han ocurrido antes.
- ✓ Que son parte del programa de mantenimiento.
- ✓ Otros que no han ocurrido, pero son posible

**Causas de Falla:** “Serie de circunstancias durante la especificación, diseño, fabricación, montaje, operación o mantenimiento de un ítem que conducen a una falla.”  
(Norma ISO 14224, 2016,)

**Efectos de Falla:** los efectos de las fallas describen que sucede cuando se presenta un modo de falla (Moubray, 2004, p. 71).

**NPR:** para tomar una decisión sobre cada modo de falla se cuantifica su impacto a través del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) el cual toma en cuenta la severidad, ocurrencia y detección de dichos fallos. Mediante la ecuación:  $NPR = S * O * D$  a continuación, se detalla cada ítem.

- ✓ S= Severidad= gravedad del efecto de la falla sobre el producto final o el cliente.
- ✓ O= Ocurrencia= probabilidad de que se produzca un modo de falla.
- ✓ D= Detección= probabilidad de que un modo de falla pueda ser detectado.

En conclusión, el NPR es el indicador de prioridad de atención a un equipo que tiene un efecto mayor en el sistema. De manera que a menor nivel NPR el impacto sobre los sistemas disminuye (Martínez, 2004).

Los cuadros con los que se evaluó la Severidad, Ocurrencia, Detección y Número de Prioridad de Riesgo se presentan en el anexo 19.

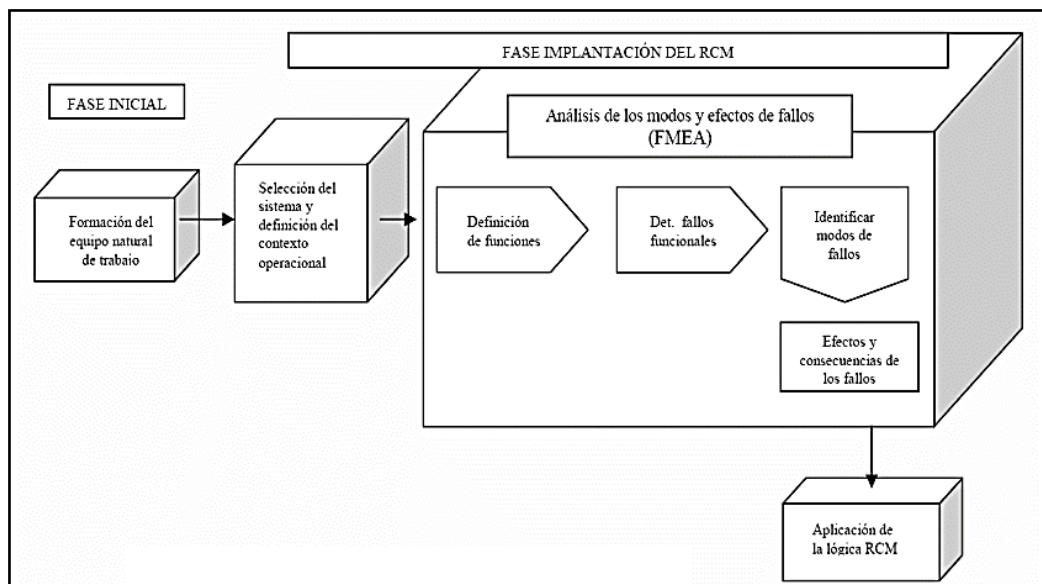
## **Generalidades del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad**

### **Fases de Implantación del RCM**

Antes de comenzar el análisis de las necesidades de mantenimiento de los activos en cualquier organización, es fundamental conocer qué tipo de activos físicos existen y decidir cuáles son los que deben someterse al proceso de revisión del RCM. Esto significa que debe realizarse un registro completo de los equipos, en el caso de que no existiera, aunque actualmente la mayoría de las industrias tienen ya esta clase de registro.

Una vez obtenido este registro, para una correcta aplicación del RCM es necesario una metódica planificación de los pasos a seguir. La siguiente figura ilustra el orden que se debe seguir en los pasos del proceso de implantación del RCM.

Ilustración 2. Fases de implementación del modelo RCM



Fuente: Parra y Crespo 2015.

Se observan en el flujograma dos grandes fases del proceso de implantación del RCM:

**I FASE INICIAL:** - Formación del equipo natural de trabajo.

**II. FASE DE IMPLANTACIÓN:**

- ✓ Selección del sistema y definición del contexto operacional.
- ✓ Análisis de los modos, efectos y criticidad de fallos (FMECA: *Failure Modes and Effects Analysis*).
- ✓ Aplicación de la lógica RCM (árbol de decisión de estrategias de mantenimiento).

En los siguientes apartados se describen detalladamente cada una de las etapas del proceso de implantación de RCM mostrado en la ilustración 2.

### **Formación del equipo natural de trabajo del RCM**

El primer paso en la implantación del sistema RCM es formar un equipo de trabajo multidisciplinario compuesto por personas que posean conocimientos y experiencia en

diferentes áreas relacionadas con la máquina o sistema que se va a analizar. Es esencial que este equipo incluya a los operadores, técnicos de mantenimiento, ingenieros y otros expertos relevantes. La diversidad de perspectivas y conocimientos en el equipo es clave para un análisis integral y exhaustivo del equipo.

El equipo natural de trabajo es fundamental para llevar a cabo el análisis RCM de manera efectiva, ya que cada miembro aporta una visión única de las operaciones, el mantenimiento y las características técnicas de la máquina o sistema en estudio.

### **Selección del sistema y definición del contexto operacional**

En este paso, se selecciona el sistema o equipo específico que se va a analizar y se define claramente el contexto operacional en el que se encuentra. Esto implica identificar el propósito y las funciones esenciales del equipo, así como las condiciones en las que opera, incluyendo factores ambientales, frecuencia de uso y nivel de carga de trabajo.

El análisis RCM debe centrarse en un sistema o equipo crítico que tenga un impacto significativo en el rendimiento, la seguridad o los costos operativos. La definición clara del contexto operacional es crucial para que el equipo de trabajo comprenda completamente el alcance del análisis y pueda establecer prioridades adecuadas en el proceso.

### **Análisis de los Modos, Efectos y Criticidad de Fallos (FMECA - Failure Modes and Effects and Criticality Analysis o AMEF)**

En esta fase, el equipo de trabajo realiza un análisis detallado de los modos de falla potenciales que podrían afectar el equipo seleccionado. Esto incluye la identificación de las diferentes formas en que el equipo puede fallar y las posibles causas subyacentes de cada modo de falla. Este tema se profundizó en Generalidades del Modo y Efecto de Falla (AMEF)

Una vez identificados los modos de falla, el equipo analiza los efectos y las consecuencias de cada falla potencial en términos de seguridad, operatividad, medio ambiente y costos. Además, se evalúa la criticidad de cada modo de falla, determinando la gravedad de su impacto y la probabilidad de ocurrencia.

El análisis AMEF permite priorizar los modos de falla más críticos y establecer una base sólida para desarrollar estrategias de mantenimiento y mitigación de riesgos. Esta fase sienta las bases para la siguiente etapa del proceso RCM, que consiste en seleccionar las tareas de mantenimiento adecuadas para prevenir o mitigar los modos de falla identificados.

### **Aplicación de la lógica RCM**

Una vez definidas las estrategias de mantenimiento, se ponen en práctica y se monitorea de forma continua el rendimiento de la máquina. Se realiza un seguimiento periódico para evaluar la efectividad de las estrategias implementadas y realizar ajustes o mejoras según sea necesario. El monitoreo continuo ayuda a detectar tempranamente posibles problemas y garantiza que el plan de mantenimiento se mantenga actualizado y efectivo en el tiempo.

La aplicación de la lógica RCM implica el uso de un árbol de decisión para determinar las estrategias de mantenimiento más adecuadas para cada modo de falla identificado durante el análisis FMECA. El árbol de decisión es una herramienta que guía al equipo de trabajo a través de una serie de preguntas y criterios para determinar qué tipo de mantenimiento se debe aplicar a cada modo de falla.

El árbol de decisión se construye con base en la criticidad y las características de cada modo de falla. Dependiendo de la gravedad del modo de falla y de si se puede predecir o prevenir, se elige la estrategia de mantenimiento más apropiada. Las estrategias de mantenimiento pueden incluir:

- **Mantenimiento Reactivo:** intervenir después de que se presente el fallo, generalmente en respuesta a una falla inesperada.
- **Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo:** realizar tareas de mantenimiento en intervalos de tiempo predefinidos para evitar la ocurrencia de fallas.
- **Mantenimiento Predictivo Basado en Condición:** monitorear constantemente el estado del equipo y realizar el mantenimiento cuando los indicadores sugieran que una falla es inminente.
- **Mantenimiento Proactivo:** implementar mejoras en el diseño o procesos para evitar o mitigar la probabilidad de fallas.
- **Mantenimiento de Detección Temprana:** implementar sistemas de monitoreo y detección temprana para identificar problemas incipientes antes de que se conviertan en fallas graves.
- **Reemplazo Programado:** reemplazar componentes o equipos antes de que alcancen el final de su vida útil.

La aplicación de la lógica RCM asegura que el mantenimiento se realice de manera efectiva y eficiente, enfocándose en las fallas más críticas y en las estrategias más apropiadas para minimizar riesgos y costos. Es una herramienta poderosa para el desarrollo de planes de mantenimiento confiables y optimizados para cualquier tipo de máquina o sistema.

### **Proceso para llenado de hojas RCM**

La hoja de decisión RCM es la que nos permite registrar:

- ✓ Que rutina de mantenimiento se va a realizar, con qué frecuencia y quien la va a llevar a cabo.

- ✓ Que fallas son lo suficientemente serias como para garantizar el rediseño.
- ✓ Casos donde se llevó a cabo una decisión deliberada para permitir que ocurran las fallas.

(Moubray, 2004, p.183).

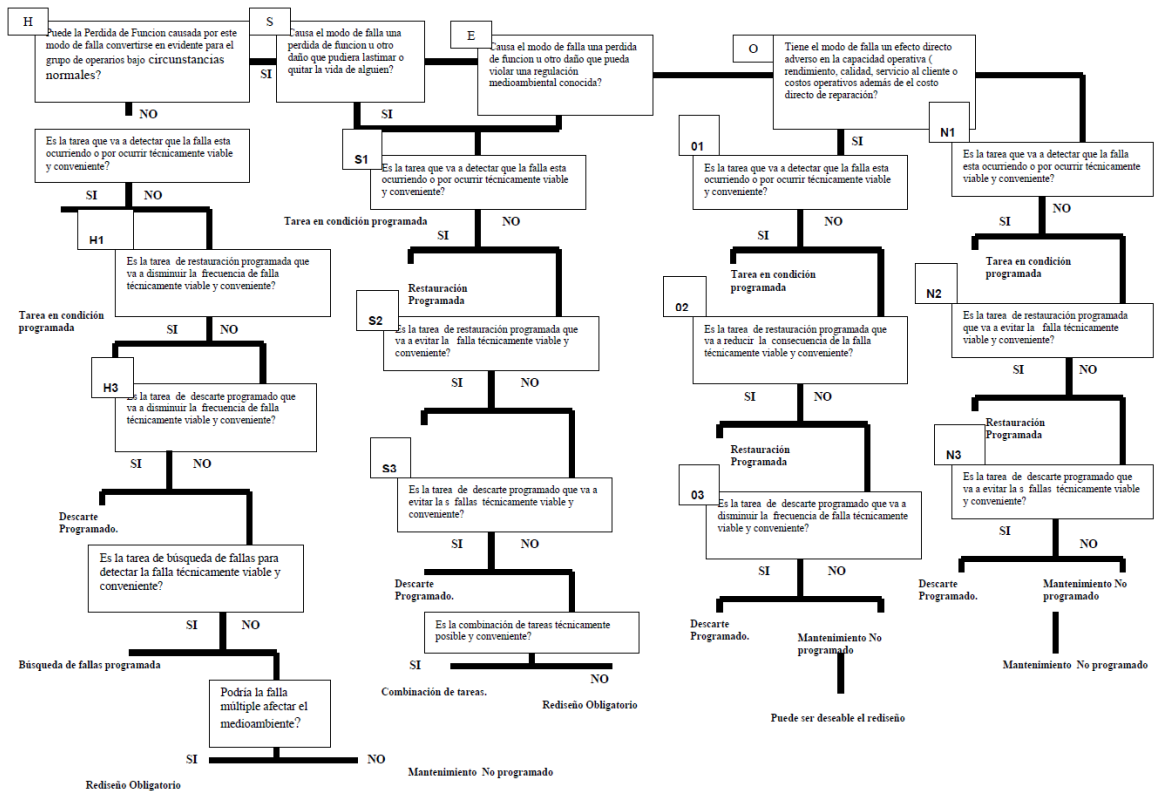
La hoja de decisión está dividida en 17 columnas. Las columnas F, FF y FM identifican la función, falla funcional y el modo de falla respectivamente que se analiza en esa línea. Se utilizan para correlacionar las referencias de las Hojas de Información y las Hojas de Decisión. Se muestra una hoja de decisión RCM en el anexo 24.

Para poder abordar el llenado de la hoja de decisión RCM, dividiremos a esta en las siguientes categorías según sus encabezados:

- ✓ Evaluación de las consecuencias
- ✓ Evaluación de tareas proactivas
- ✓ Evaluación de tareas “a falta de”
- ✓ Frecuencia inicial
- ✓ Encargado de ejecución

También se considerará para el llenado de esta hoja de decisión se utiliza el siguiente diagrama de decisión obtenido de (Moubray, 2004, p.184).

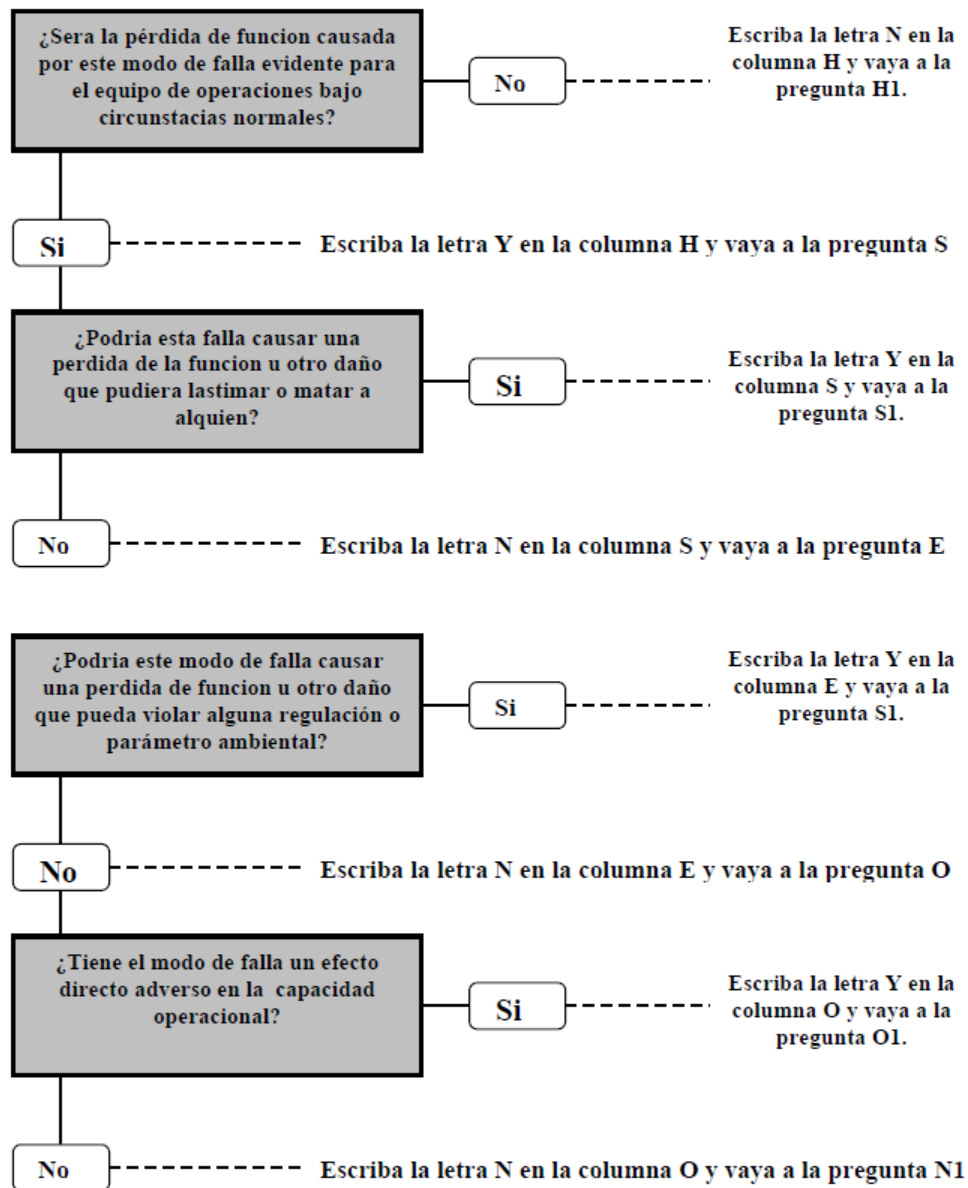
### Ilustración 3. Diagrama de decisión RCM



Fuente: Moubray, 2004, p.184

**Evaluación de las consecuencias:** “Las columnas encabezadas H, S, E, O y N se utilizan para registrar las respuestas a las preguntas referidas a las consecuencias de cada modo de falla”. (Moubray, 2004, p.185). Los significados precisos de las preguntas H, S, E, y O se realizan para cada modo de falla, y las respuestas se registran en la planilla de decisión en la base que se observa en el siguiente diagrama:

Ilustración 4. Evaluación de las consecuencias para la matriz RCM



Fuente: Moubray, 2004, p.185

Se debe tener en cuenta que:

- Cada modo de falla se analiza en términos de una categoría de consecuencias solamente.

De modo que si se lo clasifica como causante de consecuencias medioambientales solamente (Al menos cuando llevamos a cabo el análisis de cualquier bien). Esto significa que si, por ejemplo,

una “Y” es registrada en la columna “E” nada se registrara en la columna “O”. **Nota: Para nuestro caso Y= Si, N= No.**

• Una vez que se categorizo las consecuencias del modo de falla, el siguiente paso es llevar a cabo una tarea preventiva apropiada. La siguiente figura resume el criterio utilizado para decidir si tales tareas son beneficiosas y convenientes según (Moubray, 2004, p.187).

*Ilustración 5. Criterios de decisión sobre beneficios e inconvenientes en la hoja RCM*

Referencia de informacion			Evaluacion de la consecuencia				
F	FF	FM	H	S	E	O	
3	A	1	N				Una falla oculta: Para ser conveniente, cualquier tarea preventiva debe reducir el riesgo de una falla multiple hasta un nivel aceptable
5	B	2	Y	Y			Consecuencias de fallas: Para ser conveniente, cualquier tarea preventiva debe reducir el riesgo de una falla multiple hasta su propio nivel aceptable
2	C	4	Y	N	Y		Consecuencias para el medio ambiente: Para ser conveniente, cualquier tarea preventiva debe reducir el riesgo de una falla multiple hasta su propio nivel aceptable
1	A	5	Y	N	N	Y	Consecuencias operacionales: Para ser conveniente, cualquier tarea preventiva debe reducir el riesgo de una falla multiple hasta su propio nivel aceptable
1	B	3	Y	N	N	N	Consecuencias no operacionales: Para ser conveniente, cualquier tarea preventiva debe reducir el riesgo de una falla multiple hasta su propia nivel aceptable

*Fuente: Moubray, 2004, p.187*

**Evaluación de tareas proactivas:** “Las siguientes tres columnas (encabezadas H1, H2, H3 etc.) registra si una tarea proactiva ha sido seleccionada, y de ser así, qué tipo de tarea”. (Moubray, 2004, p.185).

Está distribuido de esta manera:

• La columna encabezada H1/S1/ O1/ N1 se utiliza para registrar si pudiera encontrarse una tarea a condición apropiada para anticipar el modo de falla, con suficiente tiempo para evitar, eliminar o minimizar las consecuencias.

- La columna encabezada H2/S2/O2/N2 se utiliza para registrar si se identificó una tarea de restauración programada para prevenir las fallas.

- La columna encabezada H3/S3/O3/N3 se utiliza para registrar si se encontró una tarea de descarte programado para prevenir las fallas. (Moubray, 2004, p.187).

En esencia, para que una tarea sea técnicamente posible y sea conveniente, debe ser posible responder positivamente a todas las preguntas que se muestran en la siguiente figura que se apliquen a esa categoría de tareas, y esta debe cumplir con el criterio de “beneficioso y conveniente” de la siguiente figura. Si la respuesta a cualquiera de estas preguntas fuera “No”, o desconocida, entonces se rechazan la tarea en su totalidad. Si todas las preguntas reciben respuestas positivas, entonces se registra una “Si” en la columna correspondiente.

*Ilustración 6. Preguntas para determinar la viabilidad en la hoja RCM*

H1	H2	H3	
S1	S2	S3	
O1	O2	O3	
N1	N2	N3	
Y			<p>¿Es técnicamente viable una tarea para detectar si la falla esta por ocurrir? ¿Hay una condicion de falla potencial clara? ¿Cuál es? ¿Qué es el intervalo P-F? ¿Es este intervalo lo suficientemente largo para que se tomen acciones para evitar, eliminar o minimizar las consecuencias de las fallas? ¿Es práctico monitorear el ítem a intervalos menores que el intervalo P-F?</p>
N	Y		<p>¿Es técnicamente viable una tarea de restauración programada para reducir la relacion de falla (evitar las fallas con respecto a la seguridad)? Hay una edad en la cual hay un aumento rapido en la probabilidad de la condicion de falla. ¿Cuál es esa edad? ¿Superan la mayoría de los ítems esta edad? (todo con respecto a seguridad o consecuencias ambientales). ¿Es posible restaurar la resistencia original a las fallas del ítem?</p>
N	N	Y	<p>¿Es técnicamente viable una tarea de descarte programado para reducir la relacion de falla (Evitar todas las fallas con respecto a la seguridad)? Hay una edad en la cual hay un aumento rapido en la probabilidad de la condicion de falla. ¿Cuál es esa edad? ¿Superan la mayoría de los ítems esta edad? (todo con respecto a seguridad o consecuencias ambientales).</p>

Fuente: Moubray, 2004, p.187

**Evaluación de tareas “a falta de”:** “Si fuera necesario responder a cualquiera de las preguntas de default, se debe utilizar las columnas encabezadas H4 y H5, o S4 para registrar las respuestas”. (Moubray, 2004, p.185).

En la figura siguiente se resume cómo se responde a estas preguntas (Se debe tener en cuenta que las preguntas “a falta de” sólo se preguntan si las respuestas a las tres preguntas previas fueron todas “no”)

*Ilustración 7. Resumen sobre cómo responder las preguntas para el llenado de la hoja RCM*

Referencia de informacion			Evaluacion de la consecuencia				H1	H2	H3	Acciones de Default					
FM	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4	H5	S4
							N1	N2	N3						
3	A	1	N				N	N	N				Y		
4	B	4	N				N	N	N				N	Y	
4	C	2	N				N	N	N				N	N	
5	B	4	N				N	N	N						Y
4	C	2	N				N	N	N						N
1	A	5	Y	N	N	Y	N	N	N						
1	B	3	Y	N	N	N	N	N	N						

¿Es una tarea de búsqueda de fallas técnicamente viable y productiva? Registre “yes” si es que es posible realizar la tarea y es practico hacerlo con la frecuencia requerida y si reduce el riesgo de fallas multiples hasta un nivel aceptable.

¿Podria la falla múltiple afectar la seguridad o el medio ambiente? (Esta pregunta solo se realiza si la respuesta a la pregunta H4 es no.) Si la respuesta a esta pregunta es si, el rediseño es oblogatorio. Si la respuesta es no, la accion de default es mantenimiento no programado perp el rediseño puede ser deseable.

¿Es una combinación de tareas técnicamente posible y productiva? “Yes” si la combincion de dos o mas tareas proactivas reducira el riesgo de falla hasta un nivel aceptable (esto es muy poco comun). Si la respuesta es no, el rediseño es obligatorio.

En estos dos casos, las consecuencias de las fallas son meramente economicas y no se ha encontrada una tarea proactiva adecuada. Como resultado, la decisión de default inicial es mantenimiento no programado, pero el rediseño puede ser deseable.

*Fuente: Moubray, 2004, p.188*

**Tareas propuestas:** Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada (si la hubiera), la frecuencia con que se realizara esto y quien ha sido seleccionado para hacerlo. La columna “tarea propuesta” también se utiliza para registrar los casos donde se requiere el rediseño, o en que se ha decidido que el modo de falla no necesita mantenimiento programado. (Moubray, 2004, p. 185).

**Frecuencia inicial:** Como parte adicional se agrega la frecuencia con que se ejecutara el mantenimiento planificado.

**Encargado de ejecución:** También se agrega un apartado para asignar el encargado de ejecutar las tareas propuestas y así llevar un mejor control.

## **Cosecha Mecanizada**

¿Qué es la cosecha mecanizada?

La cosecha mecanizada se produce cuando durante el proceso de recolección se emplea algún tipo de maquinaria, ya sea automática o controlada por personas para facilitar su trabajo. Aunque el equipo que se emplea para la cosecha mecanizada suele tener un alto coste, este queda totalmente compensado debido a su alta eficiencia, consiguiendo invertir mucho menos tiempo y personal.

### **Historia de la Cosecha Mecanizada**

La idea de cosechar caña con la ayuda de maquinaria sofisticada no es algo nuevo; de hecho, hay registros que indican la existencia y utilización de cuchillos propulsados por aire, tijeras gigantes y sierras giratorias entre 1880 y 1900 en el estado de Queensland, Australia. El objetivo en esos días era mejorar la eficiencia, reducir el esfuerzo físico y el deseo de innovar.

En 1888 el señor John Rowland patentó en Australia la primera máquina auto propulsada capaz de desplazarse por los campos cortando caña y dejándola tendida en el suelo para luego ser cargada manualmente. Este diseño y otros de la época incluían un motor de vapor, sierras de cadena y bandas transportadoras fabricadas con piel de origen animal.

En Estados Unidos, específicamente en Louisiana, A.N. Hadley, el inventor de la cosechadora de maíz, probó su más reciente invención entre 1911 y 1912. Su máquina era gigantesca, pesada y frágil, pero efectiva. Durante las pruebas en Estados Unidos y en Cuba

cortó, limpió y cargó caña de manera satisfactoria, pero la falta de fondos, credibilidad y finalmente la muerte de su inventor contribuyeron a que nunca fuera producida con fines comerciales.

Mientras tanto en Australia y Estados Unidos se seguía cosechando caña manualmente gracias a la mano de obra de inmigrantes. Esta operación también se beneficiaría de la tecnología del momento, en Australia se perfeccionaría el diseño del cuchillo cañero luego de que algunos trabajadores comenzaron a doblar intencionalmente sus herramientas, a agregarles peso en la punta e incorporarle una especie de gancho en la parte trasera que los ayudaba a apartar la basura. El “machete australiano” es utilizado actualmente por la mayoría de los cortadores de caña y existen versiones para diestros e izquierdos.

Para los años 40 aún no había sido posible construir una máquina realmente capaz, rentable y resistente como para ser empleada regularmente y la disponibilidad de mano de obra en Australia estaba disminuyendo, entonces se colocaron grúas en la parte trasera de los tractores para que cargaran en carretas la caña que era cortada manualmente. La operación era un poco más ágil pero aún dependiente de una masa importante de trabajadores.

Cuando estalló la Segunda Guerra Mundial la industria azucarera australiana entró en crisis por falta de trabajadores, que en su mayoría eran italianos y de otros países europeos. Entonces los grandes productores y asociaciones ofrecieron atractivos premios y reconocimientos a quienes aportaran ideas y diseños aplicables a la construcción de una máquina que pudiera ayudarlos a superar la crisis. Esta campaña y la difícil situación que se estaba pasando dio como resultado muchos conceptos interesantes generalmente creados por los mismos productores de caña partiendo de un viejo tractor sobre el cual construían su cosechadora.

Durante los años 50 y principios de los 60 los hermanos Toft lograron sintetizar lo mejor de estos conceptos en una máquina propulsada por motores Diesel que a la vez incorporaba algunas aplicaciones hidráulicas, algo muy sofisticado para aquellos tiempos. Su máquina fue probada y mejorada durante varios años hasta que se autorizó su producción en serie.

Massey Ferguson también había logrado un diseño confiable y vendía con éxito su producto para beneficio de los productores de caña australianos. La Toft continuó mejorando e incluyó una función que hoy es estándar en todas las máquinas y consiste en un sistema de cuchillas picadoras que cortan la caña en pequeños trozos de aproximadamente 25 centímetros de largo con el fin de facilitar el flujo de la caña por las bandas transportadoras y el proceso de cargado de las carretas. También se incluyeron abanicos que soplan las hojas fuera de la caña permitiendo que los cañales se cosechen sin ser quemados.

Otros inventores como The Luce Cane Harvester Co. manejaban un concepto diferente y creían en que cuanto más grande es la máquina, mejor cosecharía. No obstante, no fue así; su máquina tan grande como una casa tuvo poco éxito en Cuba y Lousiana donde se puso a prueba. Massey Ferguson se popularizó cuando lanzó al mercado una cosechadora muy efectiva con un tamaño similar al de un automóvil de pasajeros, era efectiva y versátil. Se convirtió en uno de los modelos por seguir por el resto de los fabricantes.

La empresa Toft BROS creció significativamente con el éxito de sus máquinas cosechadoras y luego formalizó alianzas con otras casas fabricantes de maquinaria agrícola a nivel mundial, actualmente se comercializa bajo la marca Austoft y pertenece a la firma CASE International Harvester.

Mientras la Toft se desarrollaba en Australia; en Cuba el dictador Fidel Castro apoyaba un proyecto para mecanizar la corta de caña en los cultivos cubanos. La compañía

Gebr. Calas Maschinenfabrik GMBH establecida en la entonces Alemania comunista, desarrollaba una máquina basándose en su experiencia fabricando sistemas para cultivo y manejo de granos.

En 1968 Castro las aceptó como exitosas y las bautizó “Libertadoras”. Este modelo luego sería readecuado a los estándares alemanes y sería comercializado mundialmente. Claas tuvo mucho éxito comercial en los años 80, pero sus máquinas se volvieron algo obsoletas luego de que Austoft nuevamente mejoró la eficiencia y redujo considerablemente el tamaño, peso y costo de sus unidades. Claas todavía fabrica cosechadoras de caña y en los últimos años lanzó al mercado un modelo más liviano y sencillo llamado Ventor, que, aunque no ha tenido el éxito esperado se encuentra activa en el mercado de esta maquinaria.

En Louisiana se encuentra la fábrica CAMECO (Cane Machinery and Engeneering Company) de gran trayectoria en otros equipos cañeros como carretas, cargadoras, tractores y a partir de los años 90 cuenta con varios modelos de cosechadoras basados en el diseño actual de Austoft. Con su modelo CH2500, CAMECO había logrado simplificar aún más el diseño, siendo más cómoda para trabajar y para realizarle servicios de mantenimiento y reparaciones en el campo, además de ser construida incorporando piezas genéricas o de otros fabricante reconocidos y bien representados a nivel mundial como John Deere y Caterpillar, lo cual es una gran ventaja para los propietarios ya que tienen mayor facilidad para adquirir refacciones. CAMECO también producía su modelo CH2600, una gigantesca y poderosa máquina capaz de cosechar 2 surcos a la vez con resultados extraordinarios. Se utilizó principalmente en cultivos en Hawai, donde los rendimientos agrícolas son muy altos, con cañales muy densos.

Actualmente el mercado de cosechadoras de caña está dominado por Austoft y John Deere. En América Latina (incluyendo El Salvador) predominan las John Deere por los

excelentes resultados que han demostrado en la región y por la relativa cercanía con los Estados Unidos y el constante comercio e intercambios que se dan entre ese país y los nuestros.

El motivo por el que la mayoría de los ingenios del mundo deciden incorporar este tipo de maquinaria a sus operaciones generalmente va ligado a la carencia del personal necesario para la cosecha y los altos costos que representa esta mano de obra, los mismos que motivaron a los pioneros australianos y estadounidenses para perfeccionar el rendimiento y confiabilidad de las cosechadoras. Pero los beneficios que algunas empresas han percibido han sido mayores. Por ejemplo, el Ingenio El Palmar en Venezuela experimentó como los pueblitos vecinos crecieron rápidamente, transformando una zona tradicionalmente agrícola en un centro urbano. La presión demográfica hacia el ingenio aumentó, ahora los cañales no entonaban con la ciudad en expansión. Algunos vecinos molestos comenzaron a quemar los cañales intencionalmente a sabiendas de que la caña quemada se deteriora rápidamente y el ingenio no estaba preparado para recolectar esa caña a tiempo. La versatilidad de las cosechadoras jugó un papel importante para esta empresa que originalmente las adquirió para tenerlas listas en espera de un incendio criminal donde inmediatamente eran llevadas para que cosecharan la caña antes de que perdiera los niveles deseables de sacarosa.

En El Salvador, la introducción se puede decir que fue motivada por la curiosidad, deseo de innovar o experimentar, pero hasta hace pocos años se le ha dado la importancia que requiere, esta vez porque el costo de los insumos y la baja en los ingresos del sector obligan a la reducción de costos y mejora de la eficiencia.

No se encontraron registros que indiquen la fecha exacta en que se importaron las primeras cosechadoras mecánicas al país. Entrevistas con empleados de las empresas que han dedicado toda su vida a la actividad y han participado activamente en más de 40 zafras

indican que las primeras cosechadoras se adquirieron entre 1995 y 1997. El ingenio que las tenía era Ingenio Chaparrastique en San Miguel, estas cosechadoras eran marca CAMECO y el modelo era CH2500, no eran asistidas de autovolteo, sino que cargaban directamente rastras grandes que luego transportaban la caña al ingenio.

Fue en el año 2009 cuando el ingenio Central Izalco de Grupo CASSA adquirió una cosechadora de la marca CASE, modelo A8800. Era una cosechadora de banda que incluía mucha tecnología de vanguardia para la época; pero debido a la incapacidad del proveedor TECUN para dar un buen servicio post venta, la máquina no tuvo buena reputación ya que tenía una baja confiabilidad. Se descartó de las filas del ingenio y fue hasta el año 2018 cuando se retomó la marca en el país de la mano del ingenio Chaparrastique, esta vez en modalidad leasing y con una estructura más robusta de parte del proveedor.

Los primeros años de esta nueva etapa con maquinaria moderna (John Deere y CASE) se caracterizaron por mantener rendimientos de producción muy por debajo de los normales en otros países como Australia, Estados Unidos y Brasil, las cosechadoras presentaban frecuentes problemas mecánicos serios, y la inexperiencia de los operadores y mecánicos hacía difíciles las reparaciones.

## **Ventajas y Desventajas de la Operación de Cosecha Mecanizada en Verde**

### **Ventajas**

- ✓ Cuido del medio ambiente: la cosecha en verde y la conservación del rastrojo en campo disminuyen el impacto ambiental al evitar la quema del campo, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación del aire.

- ✓ Reducción de costos: al no realizar la quema del campo y aprovechar los residuos de la cosecha como rastrojo, se reducen los costos asociados con la eliminación de desechos y la necesidad de mano de obra para esta tarea.
- ✓ Mejora la estructura de los suelos y su fertilidad: El rastrojo dejado en campo actúa como un acolchado natural que protege y enriquece el suelo, mejorando su estructura, retención de humedad y nutrientes.
- ✓ Necesidades hídricas son menores: la presencia de rastrojo en el campo reduce la evaporación y pérdida de humedad, lo que disminuye la cantidad de agua necesaria para el riego y el mantenimiento del cultivo.
- ✓ Ahorro en aplicación de herbicidas a futuro: el rastrojo ayuda a reducir el crecimiento de malezas, lo que disminuye la necesidad de aplicar herbicidas para el control de las mismas.
- ✓ Mayor aprovechamiento de los fertilizantes: al mejorar la estructura del suelo y retener los nutrientes, se maximiza la eficiencia en la absorción y uso de los fertilizantes aplicados.
- ✓ Entrega de caña fresca a ingenio (Menor Pérdida de Azúcar): La caña cosechada en verde retiene mejor el contenido de azúcar, lo que se traduce en un mayor rendimiento en la producción de azúcar en el ingenio.
- ✓ Menor número de labores para el manejo de los residuos: al conservar el rastrojo en campo, se evita la necesidad de realizar labores adicionales para su eliminación.
- ✓ Menor compactación de suelos: La presencia de rastrojo en el campo evita la compactación del suelo, lo que beneficia la estructura y permite una mejor infiltración del agua.

- ✓ Reducción de la mortalidad de la fauna silvestre: al dejar el rastrojo como hábitat, se protege a la fauna silvestre que suele ser afectada durante la quema de los cañales, proporcionando refugio y alimento.
- ✓ Evita la deshidratación del suelo: el rastrojo actúa como una cobertura protectora que reduce la pérdida de humedad del suelo debido a la exposición al sol y el viento.
- ✓ Menor presencia de malezas: al mantener el rastrojo en campo, se reduce el espacio y la luz disponible para el crecimiento de malezas competidoras.
- ✓ Se incorpora materia orgánica al suelo: el rastrojo dejado en el campo se descompone con el tiempo, liberando materia orgánica y nutrientes que enriquecen el suelo.
- ✓ Contribuye favorablemente al mejoramiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo: la conservación del rastrojo beneficia al suelo a nivel físico, químico y biológico, promoviendo su salud y productividad.
- ✓ Se evitan problemas con las comunidades: la práctica de cosecha en verde y la conservación del rastrojo puede reducir conflictos con comunidades cercanas, ya que se evita la contaminación del aire y problemas asociados con la quema de caña.

### **Desventajas**

- ✓ Mayor consumo de energía: la cosecha en verde requiere maquinaria más potente y energía adicional para cortar y transportar la caña, lo que puede resultar en un mayor consumo de combustible y recursos energéticos.

- ✓ Mayor desgaste de la maquinaria: la cosecha en verde puede implicar una mayor exigencia en la maquinaria debido al corte de la caña con mayor contenido de humedad y la presencia de rastrojo en campo, lo que podría llevar a un mayor desgaste y necesidad de mantenimiento.
- ✓ Menor rendimiento de azúcar por tonelada de caña: la caña cosechada en verde puede tener un contenido de humedad más alto, lo que puede reducir el rendimiento de azúcar por tonelada de caña al momento del procesamiento en el ingenio.
- ✓ Mayor requerimiento de personal: la operación de cosecha en verde puede necesitar una mayor cantidad de personal para realizar tareas como la separación del rastrojo y la limpieza de la caña antes de su transporte al ingenio.
- ✓ Mayor impacto de plagas: aunque la conservación del rastrojo puede ser beneficiosa para la fauna silvestre en algunos aspectos, también puede tener efectos negativos al alterar hábitats naturales o al atraer a plagas principalmente roedores.
- ✓ Necesidad de planificación y manejo específico: la cosecha en verde y la conservación del rastrojo requieren una planificación y manejo cuidadosos para asegurar su efectividad y reducir posibles impactos negativos.

### **Tipos de cosecha de caña de azúcar**

**Cosecha manual:** se lleva a cabo usando un grupo de personas para cortar, limpiar, empaquetar y cargar un camión que luego se descarga manualmente en el ingenio. Esta modalidad es la de menor participación en los ingenios, aunque tiene la peculiaridad de ser

la que mejor calidad de caña ofrece en términos de degradación y traslado. En el país el ingenio La Magdalena es el que más hace uso de este tipo de cosecha.

**Cosecha semi-mecanizada:** esta es la modalidad más conocida y de mayor porcentaje en la industria, se usa una cuadrilla de personas para cortar y agrupar la caña en chorras donde será una máquina conocida como “Cargadora de caña” la que, acompañada de una rastra, levantarán la caña y la depositará en dicha rastra hasta llenarla y transportarla al ingenio. Esta modalidad tiene la desventaja de quemar el cañal para facilitar el trabajo de los rozadores y tiene mayor rechazo de las comunidades por el efecto ambiental que tienen las quemas para la fauna, flora y convivencia de los poblados aledaños.

**Cosecha mecanizada:** la modalidad de recolección de caña donde no se necesita la corta previa ni quema del cañal se conoce como cosecha mecanizada, esta es la alternativa a la que le están apostando todos los ingenios en el país. Algunos ingenios en la región ya cuentan con más del 90% de recolección de caña en esta modalidad. Para poder realizar este tipo de cosecha se necesita primero de ciertas condiciones del cañal para evitar daños en la maquinaria y segundos, equipos especializados en conjunto con personal altamente capacitado. Cada frente tiene una cuota de caña asignada que generalmente es desde 600 a 800 toneladas métricas por día.

### **Proceso de Cosecha Mecanizada**

Para efectos de este estudio se describirá la cosecha mecánica como un conjunto de actividades, equipos y trabajadores que juntos operan para realizar la cosecha. Los alcances de esta operación van desde la selección del lote por cosechar hasta depositar la caña en la rastra que la llevarán al ingenio, pasando por la corta, carga y transporte. En este caso todas estas actividades son asistidas por maquinaria agrícola.

Cada ingenio tiene organizadas las actividades según sus necesidades, condiciones del campo y recursos disponibles, pero el objetivo es básicamente el mismo: la corta de caña para abastecer de materia prima al ingenio de la manera más ágil y rentable.

Se propone que el inicio de la operación sea en el momento en que se toma la decisión de cosechar un lote. Esta decisión está fundamentada en los resultados de los análisis de madurez de los cañales. La prueba consiste en recolectar muestras de diferentes puntos de un lote y en el laboratorio determinar la cantidad de azúcar que se podría producir a partir de esa caña. A estos análisis se les llama Muestreos Precosecha y son la principal herramienta que utilizan los encargados de la cosecha para determinar la secuencia de corta una vez iniciada la zafra.

Inspecciones en el campo ayudarán a determinar si las condiciones del lote son adecuadas para ser cosechado con máquina; se busca que no tengan piedras, que las variedades sean aceptables, que tengan acceso cómodo y otras características que puedan entorpecer la operación. La secuencia y el método de corta que se seguirá durante la zafra se determina en conjunto entre los agrónomos y encargados de cosecha manual y mecánica.

Las cosechadoras de caña modernas son descritas por sus fabricantes como “combinadas”, refiriéndose a la capacidad de realizar varias tareas simultáneamente: cortar la caña, picarla en trozos, separar las hojas y cargar las carretas, labores que no eran capaces de realizar las primeras cosechadoras comerciales.

El equipo mecánico que conforma esta actividad generalmente se compone por una cosechadora, dos autovolteos con sus respectivos tractores y rastras o cajones para traslado de caña que son jalados por cabezales, además es necesario el soporte por parte de uno o más camiones de servicio para el mantenimiento y la recarga de combustible. Cada pieza de equipo es conducida por un operario durante jornadas diarias de 12 horas, mientras que otro

lo hará por la noche resultando en el funcionamiento de la maquinaria las 24 horas del día, constantemente por los aproximadamente 150 días de zafra. Los módulos de mecánicos, soldadores y eléctricos asisten a la maquinaria para evitar que se interrumpan las operaciones por tiempos prolongados. En Estados Unidos y Australia donde la mano de obra tradicionalmente ha sido escasa y costosa se corta caña solamente durante el día y la noche se dedica al mantenimiento y reparación de los equipos de cosecha.

### **Cadena de siembra y cultivo de caña**

En todo ingenio existe un departamento de producción de materia prima cuyo objetivo es cultivar, cosechar y transportar la caña hasta el ingenio para su transformación en caña de azúcar. El ciclo completo para poder cumplir con el objetivo tiene 8 fases y empieza desde la adquisición de tierras cuando es hacienda administrada por el ingenio o adquisición del cliente cuando es un tercero, hasta la cosecha y posterior traslado hasta el ingenio. A continuación, se describe brevemente en qué consiste cada una de estas fases para cumplir el objetivo del departamento de producción:

#### **✓ Adquisición del Área o Cliente**

Existe un departamento encargado de mantener e incrementar el parque cañero para cada ingenio, todos los años se renueva un 5% del parque cañero del país donde algunas áreas finalizan contrato y se destinan para otros usos y otras que entran como tierras en descanso para iniciar cultivos de otra clase. Una vez realizado el contrato, la tierra pasa a manos de producción donde se asigna a un agrónomo de zona quien será el encargado de desarrollar el ciclo de siembra y cultivo de caña.

#### **✓ Preparación del Suelo**

Cuando el área está en manos de producción, se realiza la solicitud para que el departamento de servicios agrícolas por medio de la unidad de mecanización de suelos, realice las labores de preparación del estrato del suelo que se usará para el cultivo de la caña; se llevan a cabo labores de rompimiento de suelo, rastrado, afinado y surcado para proceder por último con la siembra de caña.

#### ✓ **Siembra de Caña**

Consiste en la deposición de caña semilla en el campo para su posterior tapado y proceso de germinación. Tradicionalmente se utilizan 10 toneladas métricas de semilla por hectárea, aunque procesos novedosos logran reducir dicha cantidad de caña utilizada. Se agrega fertilizante y en casos especiales un insecticida protector al suelo. Existen diversas variedades con diferentes características dentro de las cuales se manejan principalmente por su tercio de cosecha y donde la más utilizada en el país es la CP72-2086.

#### ✓ **Manejo del Cultivo (Producción)**

Una vez sembrada la caña se deben realizar labores para poder llevarla hasta su punto de cosecha conservando productividad y calidad, que son los indicadores de una buena producción de caña y extracción de azúcar. Algunas de las labores que se llevan a cabo son fertilización, control de plagas, riegos, aplicaciones aéreas y diseño de accesos, esto último preparándose para el siguiente paso. Todo el proceso de desarrollo del cultivo tiene una duración aproximada de 12 meses.

#### ✓ **Cosecha**

Este paso es el más importante del proceso, pues se debe cumplir en el tiempo adecuado para asegurar un buen contenido de sacarosa en el cultivo. La edad aproximada de cosecha es de 12 meses; pero además de eso debe cumplir con indicadores que determinan

el mejor punto para producir azúcar, estos indicadores son humedad (<69%), Pol Caña (>17%) y pureza (>85%). Hay tres modalidades de cosecha de caña; manual, semi-mecanizada y mecanizada. (Véase imagen 9 en anexos)

### ✓ **Transporte**

En conjunto con la operación de cosecha se encuentra el sistema de transporte para llevar la materia prima hasta la mesa de ingreso al ingenio; este servicio es completamente tercerizado en la mayoría de los ingenios del país y, además, es regulado por la normativa del VMT que aplica a vehículos de transporte de carga. El tipo de transporte depende de la modalidad de cosecha, y el diseño del remolque para el traslado de caña varía en función de eso, así como la capacidad de traslado de caña. En la cosecha mecanizada, los camiones esperan a que sea el tractor quien lleve la caña desde el lote hasta el punto de trasiego de caña y esa aquí donde se realiza el traspaso, cada rastra de caña mecanizada lleva entre 35 y 40 toneladas métricas. Este es la última fase para cumplir el objetivo del departamento agrícola, el cual es colocar la materia prima en la mesa de entrada al ingenio. (Véase imagen 12 en Anexo 10).

Dentro de todo el proceso que se desarrolla para colocar la totalidad de la materia prima producida en el ingenio, el estudio se enfoca en el apartado de cosecha y específicamente “cosecha mecanizada”. Esta modalidad es la más importante para cualquier ingenio que tenga planes de subsistir en esta era donde la mano de obra agrícola se ha vuelto escasa, mecanizar labores de preparación de tierra, siembra y principalmente cosecha mecanizada es una labor titánica que debe cumplir los ingenios del país y la región.

La cosecha mecanizada tiene una relevancia cada vez más importante y a medida que el porcentaje de participación de la molienda diaria aumenta en un ingenio, también aumenta

el riesgo de desabastecimiento por las fallas que sufren las máquinas y también aumenta el riesgo de disminución de calidad de materia prima que en parte también es causado por las fallas que afectan los sistemas de limpieza de las máquinas como por ejemplo: Sistema de despuntado, descalibración del conjunto picador y problemas con el extractor de basura, por mencionar algunos.

Además de todo lo mencionado, los problemas que arrastra la no disponibilidad mecánica en la operación afectan el abastecimiento y por ende afectan la cantidad de caña que se muele en los ingenios por día; a diferencia de otras modalidades, este tipo de recolección de cosecha depende netamente de la confiabilidad de las máquinas y cualquier percance que ocurra con los ellos causa bajas molidas que tiene costos altos pues para poder diluir los costos operativos de producción de azúcar es necesario dar cumplimiento al plan de molida.

### **Características de la maquinaria utilizada**

#### **Cosechadora**

La siguiente descripción se basa principalmente en los modelos CH570 de JOHN DEERE (ver ilustración 8), y aplican también para las cosechadoras CASE AUSTOFF 9900 (ver Ilustración 9), su operación y el tratamiento que le dan a la caña es muy similar, de igual forma sus dimensiones, capacidad y equipo de servicio de mantenimiento son totalmente compatibles.

La principal diferencia que existe entre todas las cosechadoras que actualmente operan en El Salvador se da en el mecanismo para el desplazamiento, las hay de orugas (ver Ilustración 8 y 9) y de llantas (ver Ilustración 10 y 11). Todos los componentes relacionados con la corta de la caña son exactamente iguales.

*Ilustración 8. Cosechadora John Deere CH570 Banda (Track)*



*Ilustración 9. Cosechadora CASE A9900 Banda (Track)*



*Ilustración 10. Cosechadora John Deere CH570 Llantas (Wheels)*



*Ilustración 11. Cosechadora CASE 9900 Llantas (Wheels)*



En la siguiente tabla se listan algunas ventajas y desventajas de la cosechadora de oruga:

*Tabla 1. Cosechadoras Banda*

<b>Cosechadora De Oruga</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Menor compactación del suelo.	Un valor más alto de adquisición.
Trabaja muy bien en terreno húmedo o fangoso.	No se puede desplazar en carretera.
Mayor estabilidad en desplazamiento y corte.	Mayor peso (2 Tm más)
Mayor rapidez para realizar maniobras al final de surco.	Mayores costos de reparación en sistema de rodaje.

*Fuente: Propia según datos de entrevistas a expertos.*

En la siguiente tabla se listan algunas ventajas y desventajas de la cosechadora de llanta:

*Tabla 2. Cosechadoras Llantas*

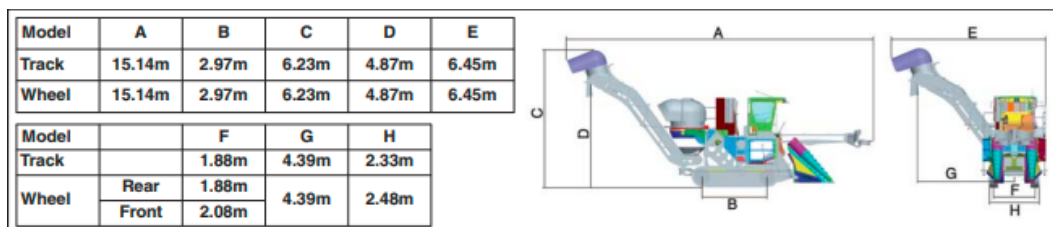
Cosechadora De Llantas	
Ventajas	Desventajas
Precio más accesible.	No puede operar sobre terreno fangoso.
El sistema de rodaje es más barato y más fácil de reparar.	Menor estabilidad en terrenos irregulares.
Traslados más eficientes por capacidad de rodar en calzada.	Mayor compactación del área cultivada.

*Fuente: Propia según datos de entrevistas a expertos.*

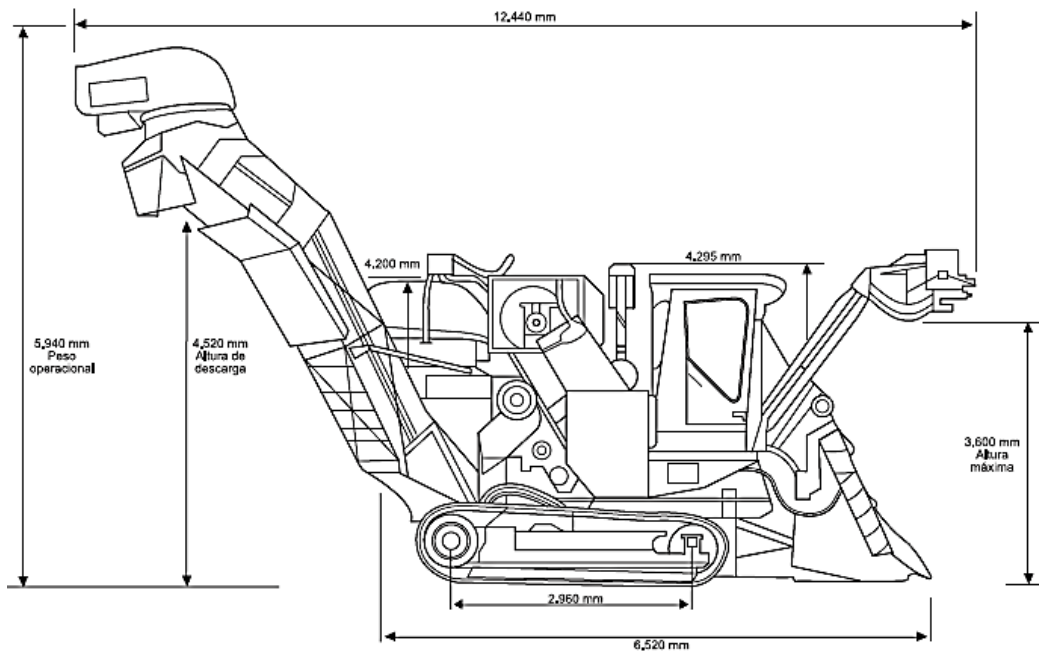
**Dimensiones.** Las dimensiones de un equipo agrícola pueden variar considerablemente dependiendo del tipo de equipo y su función específica. Las cosechadoras son máquinas grandes diseñadas para la recolección de cultivos. Su longitud puede variar de 6 a 12 metros, la anchura puede oscilar entre 4 y 8 metros, y la altura puede estar entre 4 y 5 metros. Estas dimensiones son importantes para evaluar la capacidad de maniobra de la cosechadora en los campos y considerar la logística de transporte y almacenamiento.

A continuación, se muestran las dimensiones de las cosechadoras John Deere (ver Ilustración 12) y CASE (ver Ilustración 13), presentes en el parque de maquinaria de El Salvador:

*Ilustración 12. Dimensiones de cosechadora marca John Deere*



*Ilustración 13. Dimensiones de una cosechadora marca CASE*



### **Autovolteos**

La carreta donde la cosechadora deposita la caña se conoce como Autovolteo, pues está equipada con un sistema hidráulico que el permite levantar la canasta y voltearla para depositar su carga en la rastra o cajón. Estos autovolteos son tirados por un tractor que viaja junto a la cosechadora y debe ser conducido justo por debajo de la salida del elevador para que la caña caiga dentro de la carreta y no en el suelo. En El Salvador predominan dos tipos de autovolteos: el fabricado por METAGRO que es utilizado en los ingenios Jiboa, La Magdalena y La Cabaña. La capacidad de carga es de aproximadamente diez toneladas métricas de caña (25 metros cúbicos). El otro modelo es de la marca CIVEMASA y está presente en los ingenios de Grupo CASSA y El Ángel; estos ingenios también cuentan con autovolteos de la marca METAGRO. Tienen una capacidad de diez y media toneladas métricas.

**Autovolteo METAGRO.** En El Salvador, hay un total de 40 cosechadoras y por cada cosechadora se necesita 2 autovolteos y, por lo tanto, hay 80 autovolteos en el parque de maquinaria de cosecha mecanizada. De ese total, el 70% son de la marca METAGRO, son fabricados en Guatemala por la empresa del mismo nombre. La empresa tiene más de 25 años en el mercado y presencia de maquinaria en más de 25 países con más de 8,000 equipos fabricados.

Los autovolteos de esta marca los hay en dos modelos, el primero conocido como HD25 (ver Ilustración 12) con una capacidad volumétrica de 25 metros cúbicos y el segundo es el HD35 (ver Ilustración 13), con una capacidad volumétrica de 35 metros cúbicos.

El mecanismo de levante está compuesto por cuatro pistones hidráulicos que son comandados por la bomba y mandos del tractor que tira de él. El primer circuito de dos pistones tiene la única función de levantar la carreta hasta la altura deseada (ver Ilustración 14), luego el otro circuito de dos pistones colocados horizontalmente voltea la canasta para vaciar la caña dentro de la carreta grande.

En ambos modelos depende de la rastra o cajón como soporte para que no se vuelque mientras la canasta está en la posición más elevada. Nótese en la Ilustración 15 como las llantas del lado derecho están en el aire y la estructura del autovolteos se apoya en la parte superior de la rastra

*Ilustración 14. Circuito de levante del autovolteo.*



*Fuente: Propia tomada en campo durante visita a la operación.*

*Ilustración 15. Circuito de inclinación del autovolteo.*



*Fuente: Foto tomada en campo durante visita a la operación.*

Todos los ingenios del país tienen el autovolteos HD25 en sus filas, mientras que solamente el ingenio Jiboa y Chaparrastique de Grupo CASSA cuentan con el modelo HD35 hasta el momento. Los autovolteos de mayor capacidad permiten que la máquina pierda menos tiempo esperando autovolteos en surco debido a la distancia entre el surco en corte y la zona de descarga. Las llantas que estos equipos utilizan son llantas de alta flotación con medidas de 700/50 – 22.5 y se encuentran a la venta con proveedores nacionales.

*Ilustración 17. Autovolteo METAGRO*



*Fuente: Página oficial de METAGRO.*

*Ilustración 16. Autovolteo METAGRO HD35*



*Fuente: Página oficial de METAGRO.*

Características técnicas del Autovolteos METAGRO HD25:

*Tabla 3. Características técnicas del Autovolteo Metagro HD25.*

<b>Autovolteo METAGRO HD25</b>	
Capacidad volumétrica	25 metros cúbicos
Peso máximo de carga	10 tm
Peso Tara	8.5 tm
Mecanismo de levante	Hidráulico de 2 circuitos
Altura máxima del Autovolteo	6.2 metros.
Ancho de rodaje (trocha)	2.5 metros
Costo	\$ 39,500.00

*Fuente: elaboración propia.*

Características técnicas del Autovolteos METAGRO HD35:

*Tabla 4. Características de Autovolteo HD35 METAGRO*

<b>Autovolteo METAGRO HD35</b>	
Capacidad volumétrica	35 metros cúbicos
Peso máximo de carga	14 Tm
Peso Tara	10.5 Tm
Mecanismo de levante	Hidráulico de 2 circuitos
Altura máxima del Autovolteo	6.8 metros.
Ancho de rodaje (trocha)	2.9 metros
Costo	\$ 47,900.00

*Fuente: Elaboración propia con información de un ingenio de la región.*

**Autovolteo CIVEMASA.** Con un total de 20 equipos de esta marca en el país, son la segunda marca de autovolteos más utilizada por los ingenios para la operación de cosecha mecanizada. Esta marca es originaria de Matao, Brasil. Hay diversos modelos de esta marca;

sin embargo, en la actualidad en El Salvador solamente existen dos modelos dentro del parque de maquinaria, TAC8500 y TAC10500 (ver Ilustración 18). El primero con una capacidad de 8.5 toneladas métricas y el segundo con 10.5 toneladas.

*Ilustración 18. Autovolteo CIVEMASA TAC10500.*



*Fuente: Página oficial de CIVEMASA.*

## **Tractores**

Los tractores desempeñan un papel fundamental en la operación de cosecha mecanizada de caña de azúcar. Se acoplan a un autovolteo por medio de un tiro de tipo loro, esta ancla el enganche del volteo y se asegura de manera neumática para evitar que se libere. Este tipo de acople permite un viraje sin riesgo de quebradura, además de permitir inclinación sin ningún riesgo y amplio rango de viraje.

La operación consiste en recorrer al lado de la cosechadora recibiendo la caña que va descargando por el elevador, debe existir mucha coordinación entre ambos operadores para evitar pérdidas de caña por desperdicios a causa de la no sincronización en la posición de

ambas máquinas. Al momento de finalizar el recorrido por todo el largo del surco, el tractor y autovolteo se separan de la cosechadora para realizar las maniobras de retorno y retomar así el siguiente surco para su cosecha. Cuando el volteo está completamente lleno, el operador de la cosechadora le indica al operador del tractor que debe retirarse y transportar la caña hacia la zona de descarga donde debe trasladarla y depositarla en el cajón de la rastra; en el momento en que el tractor lleno se retira, el tractor con el autovolteo vacío debe tomar su lugar continuando así con un ritmo de cosecha ininterrumpido.

La potencia del tractor a utilizar va a depender del autovolteo que se le acople, para el caso de los autovolteos METAGRO y CIVEMASA de 10 toneladas, se usan tractores de media potencia de entre 125 (ver Ilustración 19) y 130 caballos de fuerza. Los autovolteos más grandes, modelo HD35, por ejemplo, se acoplan con un tractor de mayor potencia para poder realizar la labor de arrastre sin complicaciones de patinaje y sobre esfuerzos.

Los tractores destinados para esta labor deben contar con llantas de alta flotación para minimizar el impacto de la compactación sobre el área cultivada, también deben contar con doble tracción para terrenos con alto porcentaje de humedad.

*Ilustración 19. Tractor John Deere modelo 6125E*



*Fuente: Página oficial John Deere.*

Características técnicas del Tractores JOHN DEERE 6125E:

*Tabla 5. Características de Tractor John Deere 6125E.*

<b>Tractor JOHN DEERE 6125E</b>	
Potencia	125 HP
Transmisión	12F/4R SyncShuttle
Tracción	4x4 doble tracción
Sistema hidráulico	Enfriado de 19 gal/min
Llantas delanteras	14,9-24 in 8PR R1
Llantas traseras	18,4-38 in 8PR R1
Cabina	Con Aire acondicionado
Sistema de dirección	Hidráulico asistida
Sistema de frenos	Hidrostáticos
Capacidad máxima de levante	3400 kg
Distancia entre ejes	2.4 metros

*Fuente: Creación propia a partir de información en la página del proveedor.*

Características técnicas del Tractores CASE FARMALL 130:

*Tabla 6. Características de tractor CASE FARMALL 130<sup>a</sup>*

<b>Tractor CASE FARMAL 130</b>	
Potencia	130 HP
Transmisión	2 gamas, 4 marchas alta y baja en cada marcha
Tracción	4x4 doble tracción
Sistema hidráulico	Caudal máximo de 100 l/min
Llantas delanteras	14.9×24
Llantas traseras	18.4×34
Cabina	Encabinado con A/C
Sistema de dirección	Hidráulico asistida
Sistema de frenos	Hidrostáticos mixtos
Capacidad máxima de levante	3900 kg
Distancia entre ejes	2.49m

*Fuente: Creación propia a partir de información en la página del proveedor.*

## **MARCO LEGAL**

### **Normativa Legal**

#### ***Ley de la Producción, Industrialización y Comercialización de la Agroindustria Azucarera de El Salvador***

Las relaciones y actividades entre las centrales azucareras o ingenios, y los productores, están regidas por la Ley de la Producción, Industrialización y Comercialización de la Agroindustria Azucarera de El Salvador, de agosto de 2001, a través de la publicación oficial del Decreto Legislativo N° 490.

El objetivo de la Ley es normar las relaciones entre centrales azucareras o ingenios, y las de éstos con los productores de caña de azúcar, garantizándoles justicia, racionalidad y transparencia en actividades como: siembra, cultivo y cosecha de la caña de azúcar; y producción, autoconsumo industrial y comercialización de azúcar y miel final; propiciando su ordenamiento y desarrollo sostenible para la prosperidad de la nación y de los diferentes actores de la Agroindustria Azucarera Salvadoreña. Es muy importante el hecho de que la Ley declara de interés público la siembra, el cultivo, cosecha y comercialización de la caña de azúcar; y la producción, autoconsumo industrial y comercialización de azúcar y miel final, así como, la distribución anual de las cantidades de azúcar entre las centrales azucareras o ingenios para su expendio en el territorio nacional. Esto es importante porque permite la intervención del Estado como ente regulador para corregir cualquier problema que surja entre los privados, situación que permite superar los problemas de venta interna y externa del azúcar presentados en el pasado, entre otros. Establece en su Art. 4 la creación del Consejo Salvadoreño de la Agroindustria Azucarera (CONSAA), como un organismo estatal con

autonomía administrativa y patrimonio propio adscrito al Ministerio de Economía, y es la autoridad máxima para aplicar la Ley. Su objetivo consiste en ordenar las relaciones entre los diversos actores que intervienen en la producción e industrialización de la caña de azúcar y del consumo industrial y la comercialización del azúcar y de la miel final, así como de mantener una constante y permanente vigilancia sobre el ordenamiento de las actividades expresadas en el Art. 2 de la mencionada Ley, con la finalidad de optimizar su productividad y competitividad agrícola, industrial y comercial en el ámbito nacional e internacional y que sus resultados coadyuven al desarrollo económico y social del país.

Las principales funciones y atribuciones del CONSAA son las siguientes:

- Establecer y mantener actualizado el sistema de pago de caña de azúcar y velar por que este sistema se aplique con justicia y transparencia para todos.
- Verificar las operaciones de producción, autoconsumo industrial y comercialización de la caña de azúcar, el azúcar y la miel final. Para ello el CONSAA cuenta con una firma auditora.
- Recomendar al Ministerio de Economía las asignaciones anuales de las cantidades de azúcar para consumo interno, así como la distribución de las asignaciones para los mercados Preferencial y Mundial, que le corresponde a cada Central Azucarera o ingenio.
- Recomendar a los ministros de Economía, y de Agricultura y Ganadería los precios máximos del azúcar para el Mercado Interno.
- Dirimir las diferencias que surjan entre los diferentes actores de la agroindustria azucarera.

- Colaboración con el Ministerio de Salud Pública en la aplicación de la “Ley de la Fortificación del Azúcar con Vitamina A”.
- Representar a El Salvador en el ámbito internacional en todos los aspectos relacionados con la agroindustria azucarera.
- Mantener un registro actualizado de las centrales azucareras y autorizar el establecimiento de nuevos ingenios.
- Realizar o financiar programas y proyectos de beneficio social para los productores de caña, que incluya programas de desarrollo de capital humano, educación, fomento cultural, y protección del medio ambiente.
- Inscribir los contratos de compraventa de caña suscritos entre ingenios y productores de caña de azúcar.
- Conformar e integrar las Comisiones de Zafra en cada uno de los ingenios para velar por la transparencia y buen funcionamiento de los procesos de transporte, entrega, recibo y pago de la caña de azúcar durante la zafra.

Acerca del precio en el mercado interno, los ministros de Economía y de Agricultura y Ganadería están facultados para establecer los precios máximos del azúcar y la miel final para el mercado interno.

La Ley contempla reglamentos, a continuación, se detallan:

- Reglamento de Distribución de Asignaciones Anuales de Azúcar para los Mercados Interno, Preferencial y Mundial: determina la forma como el Estado asignará a cada una de las centrales azucareras o ingenios, el porcentaje de la demanda de azúcar a vender en el mercado interno y preferencial, como lo

ordena el artículo 19 de la Ley de la Producción, Industrialización y Comercialización de la Agroindustria Azucarera de El Salvador.

- Reglamento del Sistema de Pago de Caña de Azúcar: regula todos los procesos relacionados a siembra, manejo agronómico, corte, alza, transporte, entrega, recibo y pago de la caña de azúcar, miel final y demás subproductos; a fin de establecer en forma justa, racional y transparente, la distribución de los ingresos generados por la venta de azúcar y miel final.

### **Normativa Técnica**

#### ***Norma SAE JA1011 Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad***

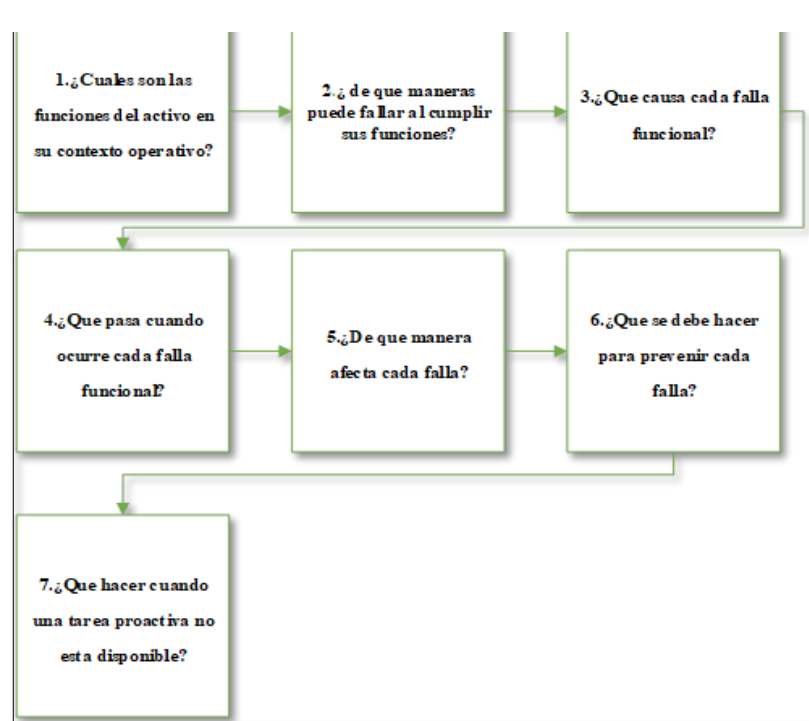
La norma SAE JA1011 publicada en 1999, establece los criterios mínimos que cualquier proceso debe cumplir para ser considerado como RCM. El documento consta de doce páginas y fue revisado en agosto de 2009; está disponible para quien desee asegurarse que su proceso es un RCM.

Alcance: la norma SAE JA1011 está disponible para cualquier organización que tiene o hace uso de recursos o sistemas físicos donde se requiere responsabilidad en su dirección.

Propósito: evaluar procesos que pretendan ser considerados como RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad).

La norma establece los criterios mínimos que debe cumplir una metodología de mantenimiento para que pueda definirse como RCM; además especifica que cualquier proceso de RCM debe asegurarse de responder satisfactoriamente en secuencia las preguntas que se muestran en la ilustración siguiente:

*Ilustración 20. Secuencia de resolución del RCM.*



*Fuente: Normativa SAE JA1011.*

### **Norma UNE-EN-60300**

De esta norma, la parte central es la UNE-EN 60300-3-11:2013 Gestión de la confiabilidad. Parte 3-11: Guía de aplicación. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

La Norma 60300 proporciona las directrices pertinentes para el desarrollo de políticas de gestión de fallos para la utilización de las técnicas de análisis de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

La norma trata de establecer una relación entre la confiabilidad y el costo del ciclo de vida total de los activos y lo desarrolla atribuyéndole costos al tratamiento de los activos debido a su propia confiabilidad, puede incluir lo siguiente:

- ✓ costos de restablecimiento del sistema incluyendo el costo de mantenimiento correctivo;
- ✓ costo de mantenimiento preventivo;

- ✓ costo de las consecuencias.

Descripción el proceso RCM:

- a) inicio y planificación del RCM;
- b) análisis de fallos funcionales;
- c) selección de tareas;
- d) implementación;
- e) mejora continua.

El RCM proporciona un programa amplio completo que no se orienta únicamente al proceso de análisis, sino también a las actividades previas y posteriores que son necesarias para el esfuerzo dedicado a la realización del análisis RCM y que logre los resultados deseados.

#### ***SAE JA1012 e ISO 14224***

Además de las dos normas antes mencionadas, existen otras más, que están relacionadas como la aplicación del RCM, como la SAE JA1012 que amplía y clarifica cada uno de los criterios basados en este mantenimiento y resume problemas adicionales que deben ser aplicados para un correcto desempeño, principalmente estudia “Efectos de falla”. También está la ISO 14224 que proporciona una base integral para la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento, para equipos de instalaciones en industrias de petróleo, gas natural y petroquímica, estos datos sirven para la gestión de los activos durante su ciclo de vida; y, define la taxonomía como la clasificación sistemática de equipos o sistemas en grupos genéricos basada en sus características comunes (localización, uso, tipo de equipo, etc.).

Para efectos de este estudio, se profundizará y trabajará con la norma SAE JA11, que establece los criterios mínimos que debe cumplir una metodología para ser considerada RCM.

## METODOLOGÍA

### Métodos de Recolección de Información

#### Método

**Tipo de investigación.** La investigación es del tipo descriptivo, debido a que busca conocer aspectos como, el porcentaje de abastecimiento de la cosecha mecanizada en los ingenios, el número de cosechadoras con que cuentan, la disponibilidad operativa de sus máquinas, y el mantenimiento que les realizan; profundizando sobre el tipo de mantenimiento aplicado, la periodicidad con la que lo realizan y quiénes ejecutan el trabajo, y si poseen conocimiento o han practicado otro tipo de mantenimiento, incluyendo el RCM. También se indagará sobre la planificación del mantenimiento y las proyecciones de la cosecha mecanizada en El Salvador, su estructura organizativa y los componentes de las cosechadoras.

**Enfoque de investigación.** Se usará el enfoque mixto, el enfoque cuantitativo permitirá obtener datos importantes como los porcentajes de abastecimiento de los ingenios azucareros con la cosecha mecanizada, la disponibilidad mecánica de los equipos utilizado y el mantenimiento aplicado a la maquinaria de cosecha mecanizada; y el enfoque cualitativo ayudará a conocer la opinión de los principales actores en el área de cosecha mecanizada, sobre temas relacionados a los procesos, estructuras organizativa, proyección de crecimiento

de la cosecha mecanizada, la maquinaria y sus elementos, entre otros; todo esto ayudará a resolver la problemática en estudio.

**Diseño de la Investigación.** El diseño de la investigación es no experimental, ya que los datos que se obtengan, resultado de la encuesta y entrevista, serán analizados únicamente, y no se manipularán ni controlarán las variables.

### **Participantes**

**Personas.** Se encuestará y entrevistará a las personas que se detallan a continuación, por poseer amplio conocimiento en el mantenimiento de la maquinaria utilizada en cosecha mecanizada de caña de azúcar y otros temas de relevancia para el estudio:

- Jefes de Operación de Cosecha Mecanizada
- Jefe de Taller Automotriz
- Jefe de Cosecha Mecanizada
- Secretario de ATASAL

**Empresas.** Los ingenios azucareros brindarán información documental necesaria para encontrar las fallas más recurrentes en los equipos, y que provocan paradas repentinas en periodo laboral.

### **Métodos de Recolección de Datos**

**Fuente Primaria.** Se obtendrá información directa del sujeto de estudio, por medio de la encuesta y entrevista que se pasará a los jefes de Operación de Cosecha Mecanizada.

**Fuente Secundaria.** Un ingenio del sector proporcionará documentos (reportes y hojas de trabajo) donde se encuentran registradas todas las paradas inesperadas con sus fallas involucradas, en un periodo de tiempo, y especificando el tipo de maquinaria.

## **Diseño Muestral**

**Encuesta.** En la encuesta no se trabajará una muestra estadística, sino que un censo, porque se estudiará el total de la población, es decir, los seis ingenios azucareros del país: GRUPO CASSA (que representa los ingenios Central Izalco y Chaparrastique), La Cabaña, La Magdalena, El Ángel y Jiboa; a fin de tener mejores resultados en la investigación.

**Entrevista.** La modalidad del muestreo será no probabilística, se entrevistará al jefe de Taller y de Cosecha Mecanizada del ingenio más grande del país, por poseer amplio conocimiento en el tema investigado y estar en la disponibilidad de compartir la información.

### **Método de entrevista**

**Semiestructurada.** El cuestionario tendrá preguntas claras sobre el tema en estudio, pero se podrá ampliar sobre el mismo, de acuerdo a la respuesta obtenido por el encuestado.

## **Procedimiento de Levantamiento de Información y su Procesamiento**

**Encuesta.** Se encuestará a los jefes de Operación de Cosecha Mecanizada; el cuestionario constará de diecisiete preguntas, siete son del tipo “cerradas”, cinco “abiertas” y cinco de opción múltiple. No se revelará el nombre del encuestado, pero sí deben especificar a qué ingenio azucarero pertenecen. Se notificará a los encuestados, con cinco días de anticipación a fecha de realización de la misma. El levantamiento de la información se hará usando la aplicación “Forms”, para facilitar su realización, y se enviará el link de la encuesta por medio de la aplicación “WhatsApp”, a cada uno de los encuestados.

**Entrevista.** La entrevista se hará personalmente y sus preguntas serán semiestructuradas; se notificará con una semana de anticipación; y el lugar de la entrevista será, las instalaciones donde labora el entrevistado. Además de las respuestas obtenidas de

las preguntas formuladas, se aceptará todo tipo de información que los entrevistados deseen compartir (reportes, bitácoras y otros) para fortalecer o respaldar las mismas.

## **Análisis de Datos**

### **Encuesta**

Los resultados de la encuesta serán graficados y analizados, con ellos se busca conocer el porcentaje de abastecimiento de la cosecha mecanizada en los ingenios azucareros y la disponibilidad mecánica de sus equipos en periodo de zafra, para el proceso de recolección de caña de azúcar; así mismo, averiguar sobre el mantenimiento que estas reciben actualmente, y el conocimiento que estos tienen del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).

### **Entrevista**

El análisis de los datos será ejecutado en cuatro fases:

1. **Fase textual:** es el tratamiento previo de los datos, es decir, se hacen las transcripciones y se empieza el desarrollo del sistema de categorías.
2. **Fase categórica:** es la aplicación del sistema de categorías en las transcripciones, para categorizar, organizar y seleccionar aquellas unidades de texto que posteriormente se podrán agrupar en diferentes dimensiones.
3. **Fase analítica:** cada unidad de texto o dimensión será tratada de forma individual, y se establecerán relaciones entre las diferentes unidades de texto.
4. **Fase reflexiva:** se obtendrán los resultados y las interpretaciones del análisis.

### **Documental**

Realizar lectura comprensiva de la información recolectada para identificar elementos importantes de la investigación, como estadísticas, reportes de bitácoras, bases de

datos, entre otros. Extraer los elementos más relevantes y con mayor contenido de información.

Los datos estadísticos sobre las “fallas” de los equipos después de ser ordenados y clasificados, se tabularán para posteriormente elaborar un Diagrama de Pareto o regla 80/20, a fin de determinar el 20 % de las causas que provocan el 80 % de las consecuencias de la situación problemática, y de esta manera, delimitar los componentes que serán sujetos de estudio; los datos resultantes servirán para trabajar la siguiente fase.

## MARCO CONTEXTUAL

### La Cosecha Mecanizada de la Caña de Azúcar en El Salvador

En la zafra 2022-2023 la Agroindustria Azucarera de El Salvador, cosechó 6.75 millones de toneladas de caña, de las cuales, 3.09 millones fueron de forma mecanizada, lo que representa el 37% por ciento del total de caña molida, la cantidad de toneladas (millones) y lo que representa la caña mecanizada por ingenio se presenta en la Tabla 8.

*Tabla 7. Toneladas molidas y porcentaje de cosecha mecanizada por ingenio zafra 22/23*

Ingenio	Total, Cosechado (TM)	Corte Mecanizado (TM)	% MEC
<b>La Cabaña</b>	918,861.40	444,029.12	48%
<b>El Ángel</b>	1,493,697.65	529,769.12	35%
<b>La Magdalena</b>	381,454.30	17,684.71	5%
<b>CASSA</b>	3,039,052.00	1,732,489.00	57%
<b>JIBOA</b>	920,252.96	367,997.15	40%

*Fuente: Creación propia a partir de datos del CONSAA*

A continuación, se presenta el histórico de participación y tendencia de cosecha mecanizada que se ha tenido en el país desde el año 2018 y donde se puede observar una clara tendencia al crecimiento de la cosecha mecanizada en la agroindustria.

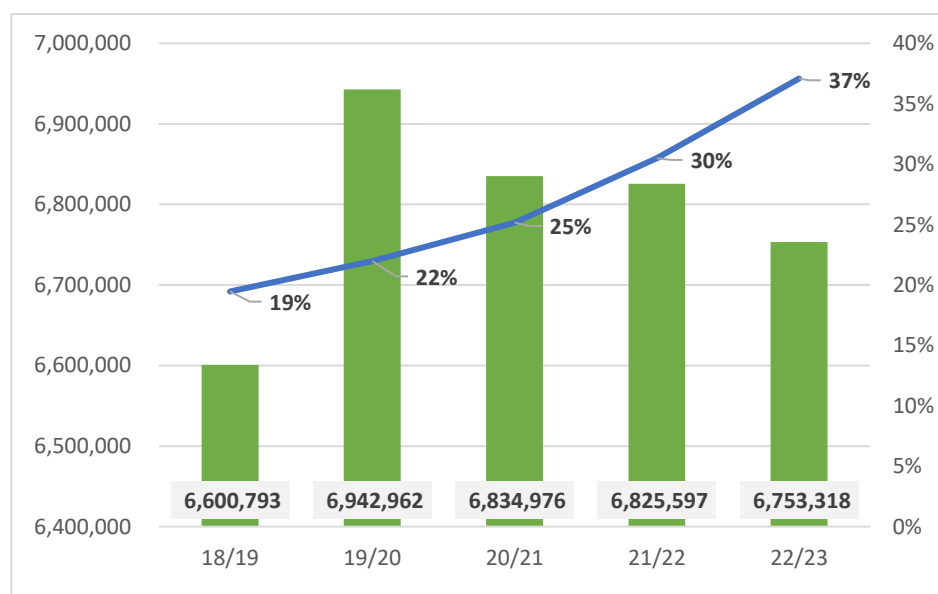
*Tabla 8. Datos históricos de la cosecha mecanizada en El Salvador*

Histórico de zafras	Total, Cosechado (TM)	% MEC
<b>18/19</b>	6,600,793	19%
<b>19/20</b>	6,942,962	22%
<b>20/21</b>	6,834,976	25%
<b>21/22</b>	6,825,597	30%
<b>22/23</b>	6,753,318	37%

*Fuente: Creación propia a partir de datos del CONSAA*

También se presenta la gráfica comparativa de la cosecha total versus la cosecha mecanizada, de los últimos cinco años en El Salvador:

*Gráfica 1. Gráfico del histórico de participación de cosecha mecanizada*



*Fuente: Elaboración propia*

La gráfica claramente muestra un incremento de la cosecha mecanizada, independientemente de la cosecha total, ya que esta última disminuyó en los últimos tres años.

Las tablas siguientes muestran datos importantes como el inventario actual de maquinaria de cosecha, inventario histórico, rendimientos promedio, y otros datos relacionados con la mecanización y molienda de la caña de azúcar en los ingenios de El Salvador. Es importante señalar que cada máquina tiene el potencial de reemplazar hasta 140 personas de corte manual al día.

La Tabla 9 contiene información relacionada al número equipos (cosechadoras, tractores y autovolteos) de cada ingenio azucarero de El Salvador en la zafra 22/23.

*Tabla 9. Inventario de maquinaria de cosecha mecanizada en El Salvador, zafra 22/23*

<b>Ingenio</b>	<b>No. Cosechadoras</b>	<b>No. Tractores</b>	<b>No. Autovolteos</b>
<b>La Cabaña</b>	6	12	12
<b>El Ángel</b>	7	14	14
<b>La Magdalena</b>	1	2	2
<b>CASSA</b>	20	40	40
<b>JIBOA</b>	6	12	12
<b>Totales</b>	<b>40</b>	<b>80</b>	<b>80</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

En seguida, se presentan el número de cosechadoras totales en el país, desde la zafra 18/19 hasta la 22/23:

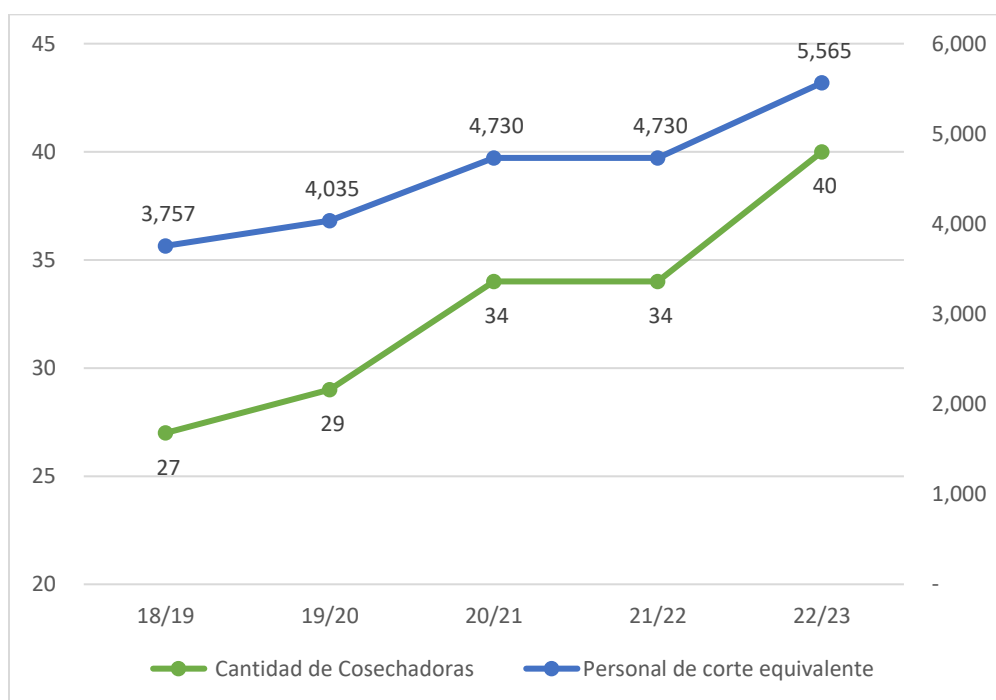
Tabla 10. Inventario histórico de cosechadoras en El Salvador

Histórico de zafras	Cantidad de Cosechadoras
18/19	27
19/20	29
20/21	34
21/22	34
22/23	40

Fuente: Creación propia a partir de datos en el CONSAA.

En el gráfico 2 muestra el comparativo del número de cosechadoras de las últimas cinco zafras (18/19 - 22/2023) en todo el país versus la cantidad de corte manual requerido.

Grafica 2. Comparativo de número de cosechadoras versus el corte manual requerido (zafras 18/19 a 22/2023)



Fuente: El CONSAA

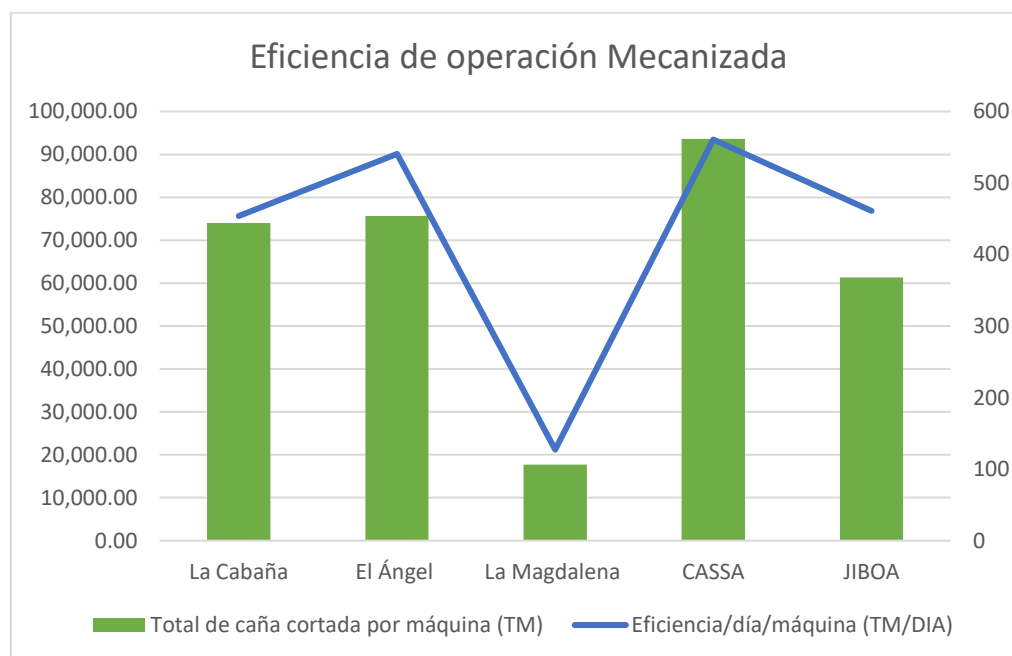
Eficiencia de la operación de cosecha mecanizada durante la zafra 22/23. La eficiencia de las máquinas es la cantidad de caña que cortan en un día. Las cosechadoras de caña tienen la capacidad de cortar hasta 1500 toneladas métricas con una buena disponibilidad mecánica y condiciones de campo favorables.

*Tabla 11. Eficiencia de operación de cosecha mecanizada, zafra 22/23*

Ingenio	Total, de caña cortada por máquina (TM)	Eficiencia/día/máquina (TM/DIA)
<b>La Cabaña</b>	74,004.85	454.02
<b>El Ángel</b>	75,681.30	540.58
<b>La Magdalena</b>	17,684.71	127.23
<b>CASSA</b>	93,648.05	560.77
<b>JIBOA</b>	61,332.86	461.15

*Fuente: Creación propia.*

*Grafica 3. Eficiencia de operación de cosecha mecanizada, zafra 22/23*



*Fuente: Elaboración propia*

## DIAGNÓSTICO Y CONCEPTUALIZACIÓN DEL DISEÑO

### **Prediagnóstico**

En el sector azucarero de El Salvador, la eficiencia de la cosecha mecanizada es un pilar fundamental para la productividad de los ingenios. Sin embargo, esta operación enfrenta desafíos evidentes en la disponibilidad y rendimiento de los equipos utilizados.

El problema de disponibilidad afecta principalmente a un equipo, la cosechadora de caña en sus diferentes marcas y modelos. La problemática que se ha identificado y que afecta a la operación es la falta de disponibilidad mecánica y que impide incrementar el tiempo efectivo y productividad de los equipos. Para poder delimitar de mejor manera la problemática se ha considerado ejecutar una encuesta a los jefes y Encargados del Área de Cosecha Mecanizada de todos los ingenios de El Salvador; las preguntas van orientadas a conocer sobre el porcentaje de participación de la cosecha mecanizada en los ingenios, número de cosechadoras y sus porcentajes de disponibilidad operativa, y sobre los tipos de mantenimiento que se realizan y su frecuencia, entre otros. Los resultados de la encuesta se presentan en los anexos 21 y 22, y a continuación se presenta la conclusión de los resultados.

### ***Conclusión de Encuesta***

- ✓ La encuesta fue respondida por el 100 % de la población, es decir, los seis ingenios azucareros que existen en el país; y fueron los encargados, jefes y gerentes de área de cosecha mecanizada, quienes aportaron información valiosa de las empresas donde laboran.
- ✓ El porcentaje de participación de la cosecha mecanizada en cada ingenio es variante, el Ingenio Magdalena con el 5 %, y los demás se encuentran entre el 35 % y el 57 %, el promedio es 37 % aproximadamente; estos valores representan un avance

importante para los ingenios que deciden apostarle a la mecanización de la cosecha, por las grandes ventajas que representan, como la armonía con el medio ambiente y las comunidades, y la reducción de costos para las empresas.

- ✓ El número de cosechadoras de cada ingenio azucarero depende el porcentaje de participación que tienen en la molienda, sumando un total de 40 máquinas en todo el país.
- ✓ Con respecto a la disponibilidad operativa de las cosechadoras, de las cinco empresas, una de ellas está por debajo del 70 %, tres están entre el 71 % y 80 %, y una está entre el 81 % y 90 %, estos datos muestran que, se deben tomar medidas preventivas para mejorar los porcentajes que están por debajo de 80 %.
- ✓ Los principales sistemas que afectan en la disponibilidad operativa de las cosechadoras son la base cortadora, rodos alimentadores y sistema de rodaje; estos problemas los padecen todas las organizaciones encuestadas, por lo que, requiere ser analizados detenidamente, a fin de buscarles solución.
- ✓ Todos los ingenios azucareros practican mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo. La frecuencia con que realizan el mantenimiento preventivo es diaria, el mantenimiento programado principalmente lo realizan cada 300 y 500 horas, y el mantenimiento mayor lo realizan anualmente.
- ✓ Las personas involucradas en el mantenimiento son mecánicos, eléctricos, soldadores y supervisores de taller; en conjunto trabajan para mantener a los equipos trabajando en el periodo de zafra con la mayor disponibilidad mecánica posible.
- ✓ Desde el ámbito administrativo, los tipos de mantenimiento aplicados a la maquinaria son insourcing y outsourcing; el primero principalmente lo practican por medio de

talleres empresariales, y el segundo lo ejecutan las empresas que rentan maquinaria (leasing).

- ✓ Solamente dos encuestado conocen otros tipos de mantenimiento, el “Mantenimiento Total” y “RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad)”. Se tiene la oportunidad de presentar propuestas de mantenimiento efectivas, que ayuden a resolver los problemas de disponibilidad mecánica de los equipos de cosecha mecanizada. Con respecto al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, no se ha practicado en las empresas encuestadas y poseen poco conocimiento acerca de este, por lo que su implementación resultaría novedosa y atractiva, por las ventajas que tendrían al implementarla, como la seguridad operacional y protección al medio ambiente, sistema de mantenimiento eficiente, reducción de costos, incremento de la disponibilidad técnica y fiabilidad de los equipos, entre otros.

Además de las encuestas, se realizaron tres entrevistas 21, 22 y 23 en seguida se presentan los análisis y resumen de cada una de ellas.

### *Análisis de Entrevista 1*

#### **Realizada al jefe de Taller de un ingenio del sector**

El Gerente Agrícola y los jefes de Taller Automotriz, Cosecha Mecanizada, Procesos, Producción y Transferencia Tecnológica están implicados en la planificación del mantenimiento de los equipos de cosecha mecanizada; además, monitorean, dan seguimiento, evalúan y generan corrección a dichos planes de mantenimiento. La meta es la disponibilidad operativa de la maquinaria, a fin de lograr su aprovechamiento eficiente; y ante posibles desviaciones en el cumplimiento de los indicadores de desempeño, toman acciones de corrección inmediatamente.

## *Análisis de Entrevista 2*

### **Realizada al Ing. José Miguel Contreras, secretario de ATASAL**

La tendencia de la cosecha mecanizada en El Salvador es al alza, tal y como se ha comportado los últimos años, y se ve reflejada en el aumento del número de cosechadoras a nivel nacional; en la actualidad el porcentaje de participación de cosecha mecanizada es del 37 %, y la proyección para la zafra 25/26 es del 51%, logrando un potencial del 69 %.

La cosecha mecanizada aumenta la producción de caña de azúcar, por medio de la eficiencia que se logra por la rapidez con la que se cosecha la caña, y para ello se requiere que la maquinaria tenga excelente rendimiento.

Son muchas las ventajas que se tienen al practicar este tipo de cosecha, primeramente, solventa el problema de escases de mano de obra (rozadores de caña), y reduce los costos del mismo, ya que cada cosechadora operando eficientemente reemplaza a 140 cortadores de caña al día. Beneficia a los empleados, disminuyendo el desgaste físico, y brindándoles un ambiente laboral más seguro; también es amigable con el medio ambiente. En comparación con la cosecha manual, esta opción es la más rentable para las empresas. Las ventajas anteriores permiten mayor competitividad en el mercado nacional e internacional.

En la zafra 25/26 se tiene la proyección de contar con 52 cosechadoras en El Salvador.

Para lograr un buen rendimiento de la maquinaria es necesario brindarles el mantenimiento correspondiente, innovar la tecnología, asegurar que condiciones del terreno sean las adecuadas para el desplazamiento correcto de la maquinaria, cosechar en extensiones grandes de terreno y en el tiempo óptimo de madurez de la caña; y contar con un equipo de trabajo que posea el conocimiento necesario para realizar las diferentes funciones para la labor de cosecha mecanizada.

### ***Resumen de Entrevista 3***

#### **Entrevista realizada al jefe de Cosecha Mecanizada de un ingenio azucarero**

El organigrama de cosecha mecanizada cuenta con área administrativa, y operativa. En la administrativa, la máxima autoridad es el jefe de Cosecha Mecanizada, y sus subalternos son los Supervisores de Zona, uno para cada zona del país, occidental, paracentral y oriental. En el área operativa, hay un caporal de alce por zona, y para cosechar, se forman equipos de trabajo para cada máquina cosechadora y están constituidos por 2 operadores de tractor, 2 operadores de cosechadora, 1 chequero, 3 querqueros, y 1 acomodador, y también colabora 1 controlador de tráfico. Cada uno de ellos realiza funciones importantes para la ejecución del trabajo.

Es importante mencionar las funciones del talento humano. Los responsables de zona son los encargados de monitorear el trabajo que realizan los equipos de cosecha mecanizada, a fin de cumplir con las metas propuestas para cada zona, además, reportan cualquier inconveniente al Jefe de Cosecha Mecanizada; el operador de cosechadora conduce, opera y controla la cosechadora, y tiene la responsabilidad de cuidar el equipo asignado; el operador de tractor transporta y trasiega la caña de azúcar; el caporal de alce supervisa los frentes de cosecha e informa a su superior; los chequeros realizan las ordenes de envío y supervisar la calidad del corte; el querquero recolecta la caña que queda en el suelo después que pasa la cosechadora, para colocarla en el surco próximo a cosechar; el acomodador distribuye la caña uniformemente en los camiones que la transportarán; y el controlador de tráfico coordina entrada y salida de los camiones a las haciendas donde se encuentra la caña de azúcar a transitar.

Los componentes de las cosechadoras que entran en contacto con la caña en primer lugar son las puntas de los divisores, estos levantan la caña que se encuentra caída hacia los

lados y la centran para que queden expuestas a la base cortadora; sobre cada par de tornillos hay un plato giratorio con cuchillas que cortan la caña que se encuentra muy enredada.

Antes que la caña sea cortada pasa por un sistema descogollador o despuntador, le corta el cogollo para que la caña vaya más limpia.

El siguiente proceso lo realizan los Cortadores Base, son dos discos con cinco cuchillas cada uno que giran en sentido opuesto y realizan el corte de la caña; este componente está susceptible a daños causados por obstáculos dentro del lote como piedras, troncos, pozos abandonados y otros.

Después de cortar la caña, un rodillo llamado “tumbador” la golpea para colocarla en posición horizontal y dirigirla hacia el rodillo “pateador” que es el que se encarga de levantar la caña hacia una serie de rodos alimentadores que la transportan en dirección a los picadores, estos cortan los tallos en dimensiones de 15 a 20 centímetros, y la arrojan a una canasta que su suelo es una cadena transportadora que la lleva por el elevador; y al final, se encuentran dos extractores que succionan las hojas verdes y seca, para que la caña que caiga en los autovolteos vaya limpia.

### ***Conclusión de entrevistas***

Los involucrados en la planificación del mantenimiento de los equipos de cosecha mecanizada son el Gerente Agrícola y los jefes de Taller Automotriz, Cosecha, Procesos, Producción y Transferencia Tecnológica; en conjunto trabajan para cumplir con las metas de disponibilidad operativa de la maquinaria.

En El Salvador, la participación de cosecha mecanizada ha ido al alza, debido a las mejoras que ofrece a los ingenios azucareros; el porcentaje promedio de participación es del 37 %.

Entre las ventajas que ofrece este tipo de cosecha es el aumento de la producción, la reducción de costos, mayor bienestar a los empleados, y reduce la contaminación al medio ambiente. Para que la maquinaria tenga buen rendimiento es necesario que opere en las condiciones adecuadas, principalmente las relacionadas con los terrenos, para evitar fallas constantes; y que su equipo de trabajo tenga los conocimientos y habilidades para desempeñar sus funciones correctamente.

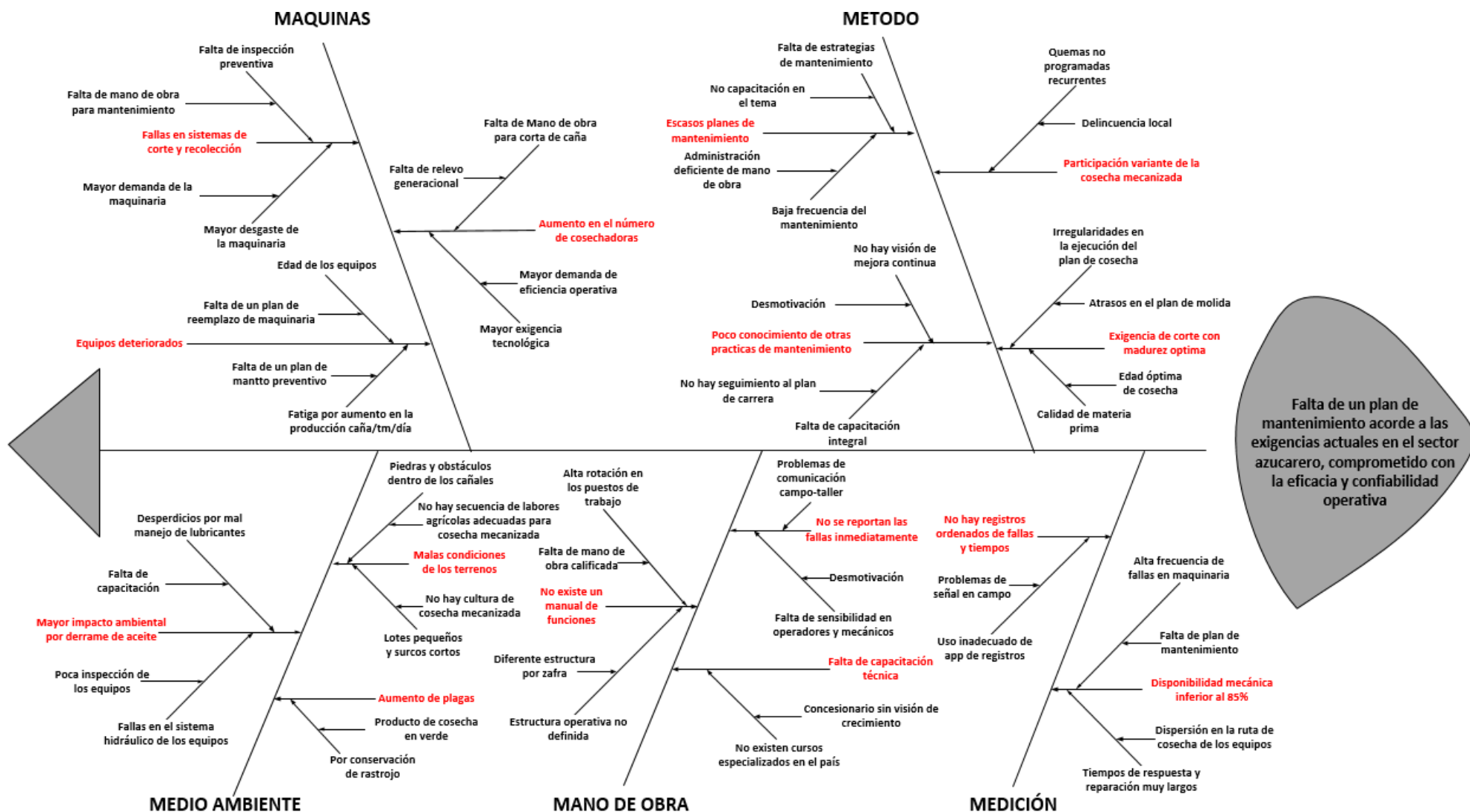
El organigrama del área de Cosechadora Mecanizada está conformado administrativamente por el jefe de Cosecha Mecanizada y los Supervisores de Zona, y operativamente está constituido por caporales de alce en cada zona, operadores de cosechadora y tractor, chequeros, querqueros, acomodador y controlador de tráfico.

En las cosechadoras son varios los componentes que entran en contacto con la caña de azúcar, pero una de las partes más vulnerables es la Base Cortadora, ya que pueden quebrarse fácilmente si hay mucha piedra en el terreno.

### ***Diagrama de Ishikawa***

Los factores más importantes de la información recolectada en la encuesta y entrevistas se presentan a continuación en un Diagrama de Ishikawa:

Ilustración 21. Diagrama de Ishikawa conclusión de encuesta y entrevistas



Fuente: elaboración propia.

### ***Conclusión Diagrama de Ishikawa***

Se analizaron las posibles causas generales para poder encontrar la causa raíz, las cuales fueron, maquinas, método, medio ambiente, mano de obra y medición (véase ilustración 32 anterior Diagrama de Ishikawa), encontrando en cada etapa puntos claves que podrían ayudar a mejorar el proceso actual.

Después de analizar por separado cada una de las posibles causas, se detectó que, en maquinaria existen fallas que son recurrentes en los equipos, hay un aumento en el número de cosechadoras debido a la falta de mano de obra y a las exigencias de innovación, y mayor deterioro de los mismos, por no contar con buenos planes de mantenimiento y reemplazo. En método, exige cortar la caña en su madurez óptima y la participación de la cosecha mecanizada es variante en cada periodo de zafra, además, los planes de mantenimiento son escasos, por muchos factores, como la falta de capacitación y administración deficiente de la mano de obra; y el personal en general posee poco conocimiento sobre otras técnicas de mantenimiento, únicamente las más conocida. En medición, los dos factores más importantes son la baja disponibilidad mecánica de los equipos y la falta de registros para plasmar las fallas y sus tiempos. En mano de obra, se carece de un manual de funciones y capacitación técnica a sus operadores, pero también existe poco compromiso de los trabajadores para reportar fallas en el momento preciso y así evitar pérdidas de tiempo. Con respecto al medio ambiente, la implementación de este tipo de cosecha genera mayor impacto ambiental, por el derrame de aceite, sumado a eso, el aumento de plagas y las malas condiciones de terreno. Todos los factores anteriores, exigen un plan de mantenimiento que resuelva las exigencias actuales del sector azucarero, y que siempre busque ser eficiente y confiable operativamente.

## *Análisis de Información Documental*

El ingenio más grande la de la región proporcionó la siguiente información donde se aprecia la disponibilidad que tuvieron los equipos de cosecha mecanizada durante la zafra 22/23.

*Ilustración 22. Análisis de disponibilidad mecánica actual*



*Fuente: proporcionado por taller y flota de maquinaria del ingenio azucarero.*

En la imagen anterior se puede observar que la disponibilidad mecánica de los tractores/autovolteos está por encima del 98%, mientras que los equipos denominados como cosechadoras tienen una disponibilidad inferior al 80%, lo que se traduce como una baja productividad diaria debido a que pasan mucho tiempo fuera de operación. También compartieron información relacionada con la eficiencia.

**Relación del aumento de la eficiencia con la capacidad de transporte y molienda del ingenio.**

*Cuadro 3. Datos relacionados a la disponibilidad mecánica*

Horas del día	24
% de disponibilidad deseado	90%
Horas disponibles deseadas	21.6
% disponibilidad actual	70%
Horas disponibles actuales	16.8
Horas (Oportunidad)	4.8
# de máquinas en Ingenio	10
TM/HR promedio	38
TM/HR (oportunidad)	1824
Peso neto por viaje TM	35
Viajes (Oportunidad)	52.1
TM/DIA/MAQ(Cosechadora)	750
Equipos Cosechadoras (Oportunidad)	2.432

*Fuente: Elaboración propia por datos proporcionados por un ingenio de la región*

La disponibilidad del equipo está actualmente en 70% de acuerdo con los datos provistos por el taller de maquinaria agrícola de un ingenio de la región. Esto significa que se tiene un total de 16.8 horas disponibles al día para realizar actividades de cosecha y tiempos muertos operativos como cambios de turno, alimentación, traslados de campo y revisión de terreno. Sin embargo, un porcentaje de disponibilidad de 90% dejaría un total de 21.6 horas disponibles, lo que significa 4.8 horas más en comparación con el dato actual.

Las cosechadoras producen 38 tm/h en promedio, de manera que tomando en cuenta que son 10 cosechadoras, se tendría un total de 1824 tm más solo con aumentar la disponibilidad de los equipos.

### **Capacidad del ingenio**

El ingenio tiene una capacidad de molida fija y las inversiones para aumentar dicha capacidad son altísimas, por lo tanto, no se hacen todos los años. Sin embargo, para el caso del aumento de productividad de las cosechadoras, hay que tomar en cuenta que el abastecimiento del ingenio está compuesto de caña mecanizada y caña de rollo o corte manual, de manera que, al aumentar la productividad de las máquinas, se debe disminuir la participación de rollo para mantener un abastecimiento controlado y dentro de los límites de molida del ingenio.

Por otra parte, ese aumento de productividad también se puede aprovechar para disminuir la flota de cosechadoras y disminuir así los costos fijos. Si aumentando la disponibilidad se tienen 1824 tm más, sabiendo que la productividad promedio de las máquinas es de 750 tm/día, se tendría la oportunidad de disminuir la flota en 2 equipos y aprovechar así para aumentar las eficiencias de los equipos restantes. Esta también sería una forma de aprovechar la disponibilidad extra que se pretende lograr con el plan de mantenimiento.

### **Transporte de caña hacia el ingenio**

De acuerdo con el cálculo de 4.8 horas más por día por máquina y traducido a toneladas, esto da como resultado 52 viajes de caña más (35 tm/viaje). La flota de transporte subcontratada para la zafra está calculada en función de la cantidad de caña a moler diaria y la capacidad de corte nominal que tienen las cosechadoras.

### **Necesidad de mantenimiento y eficiencia sub utilizada**

El incremento de la disponibilidad mecánica no necesariamente significa un incremento en la productividad de la maquinaria por día. Esto se debe a que la productividad de la máquina está relacionada con diversos factores y entre ellos está la disponibilidad mecánica; los otros factores de mucho peso son la productividad del lote donde se esté cortando (tm/Ha) y el diseño del mismo,

longitud del surco, calles para maniobras al final del surco y obstáculos como piedras, árboles o postes dentro del lote.

Tomando eso como referencia, el incremento de disponibilidad no garantiza por sí solo más toneladas por máquina. Para logra eso se debe balancear una ruta de cosecha con lotes que cumplan con las condiciones que permiten alcanzar una buena productividad con los equipos de corte de caña.

*Tabla 12. Escenarios planteados de disponibilidad*

<b>Equipo</b>	<b>TM / Ha</b>	<b>Tm/ Hr</b>	<b>Disponibilidad</b>	<b>Tiempo disponible</b>	<b>Cambios de turno y alimentación</b>	<b>Hr trabajadas por día</b>	<b>TM / DIA</b>
Escenario 1	80	38	70%	16.8	3	13.8	<b>524.4</b>
Escenario 2	60	34	80%	19.2	3	16.2	<b>550.8</b>
Escenario 3	40	30	85%	20.4	3	17.4	<b>522</b>

*Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por un ingenio de la región.*

En la tabla se puede observar un planteamiento con escenarios donde tenemos baja disponibilidad, pero buena producción en el cañal. Eso se traduce como una productividad con la cosechadora por día (524 tm). En los siguientes escenarios se puede ver un incremento en la disponibilidad mecánica del equipo, pero también una disminución en la producción de caña por hectárea dentro del lote y esto se traduce como un leve incremento en la productividad de toneladas por día por máquina.

Continuando con el análisis, es importante considerar que, aunque una máquina trabaje más horas al día bajo el escenario de mayor disponibilidad mecánica, esto no necesariamente se traduce en un aumento proporcional de la productividad. Si la cantidad de caña cosechada por día se mantiene constante, la máquina está operando por un período más prolongado sin un incremento correspondiente en toneladas cosechadas. Este funcionamiento extendido implica un mayor

desgaste de los componentes críticos del equipo, lo que puede influir en la frecuencia y el costo de mantenimiento. A pesar de que la disponibilidad mecánica del equipo se ve incrementada, la productividad en términos de toneladas por hora de operación efectiva puede no mejorar. Esto subraya la importancia de optimizar no solo la disponibilidad mecánica sino también la eficiencia operativa para asegurar que el tiempo adicional de máquina en funcionamiento se refleje en un aumento tangible de la producción.

### **Síntesis y Validación de la Problemática**

La cosecha mecanizada de la caña de azúcar a lo largo de los años se ha convertido en una práctica común en muchos países como alternativa más eficiente en la cosecha de caña de azúcar, incluyendo El Salvador. Sin embargo, la disponibilidad de cosechadoras mecánicas puede ser un problema en algunos casos. La falta de cosechadoras mecánicas puede retrasar la cosecha y aumentar los costos de producción. Además, la falta de cosechadoras mecánicas puede aumentar la carga de trabajo de los trabajadores agrícolas, lo que puede llevar a una mayor fatiga y lesiones.

Lo anterior se profundiza en el siguiente cuadro extraído del diagrama de Ishikawa e información documental, donde se presentan algunas de las causas de la problemática principal, relacionándolas con las consecuencias que conllevan al no solucionarse. Además, se agregan los resultados que generan dichas consecuencias, los efectos e impactos que estas tienen en relación con los involucrados directos.

Cuadro 4. Síntesis de la problemática

	<b>Causas identificadas</b>	<b>Consecuencias</b>	<b>Resultado</b>	<b>Efecto</b>	<b>Impacto</b>
<b>Medición</b>	No hay registros ordenados de fallas y tiempos	Sesgos en la información utilizada para la planificación de mantenimiento.	Persistencia de fallas que no se han abordado en la planificación del mantenimiento.	Aumento de costos por fallas presentadas que se pudieron evitar.	Disminución de la rentabilidad en la cosecha mecanizada, ante la tradicional.
	Disponibilidad mecánica inferior al 85 % (indisponibilidad).	Aumento de la cosecha quemada.	Contaminación del aire por humo generado.	Comunidades afectadas por impurezas en el aire.	Enfermedades respiratorias y otras.
			Mayor carga laboral para la mano de obra agrícola.	Aumento de fatiga física y mental de las personas, entre otras.	Deterioro de la salud en el mediano-largo plazo de las personas.
			Daños a la biodiversidad.	Reducción de agentes controladores de plaga natural.	Mayor costo para control de plagas en el futuro.
<b>Maquinas</b>	Equipos deteriorados.	Disminución en la eficiencia de cosecha.	Reducción en la productividad.	Aumento en los costos de producción.	Disminución en los beneficios para el ingenio.
	Fallas en sistemas de cortes y recolección.	Disminución en la eficiencia de la cosecha mecanizada.	Reducción en la tasa de cosecha mecanizada planificada.	Aumento en la incertidumbre sobre la confiabilidad de la cosecha mecanizada.	Aumento de la cosecha tradicional (Quema y corte).
	Aumento en el número de cosechadoras.	Aumento de costos de inversión y operativos.	Efecto negativo en la rentabilidad.	Confiabilidad afectada (Costo/Beneficio)	Consideración de alternativas diferentes.
	Deficiencia en el registro, comunicación y planes de mantenimiento.	Disminución en el alcance de los mantenimientos planificados.	Fallas originadas por no ser abarcadas en el mantenimiento preventivo	Disminución de la confiabilidad en la cosecha mecánica.	Variaciones en la cosecha mecanizada.

<b>Mano de obra</b>	No existe un manual de funciones.	Ineficiencia en la gestión del capital humano.	Dificultad para asignación de funciones y responsabilidades.	Consecuencias en productividad o posible desencadenante de acciones inseguras.	Disminución en rentabilidad o aumento de accidentes laborales.
	No se reportan las fallas inmediatamente	Evolución de una falla temprana a una adulta o tardía.	Mayor costo en la corrección de la falla, reducción de la productividad, etc.	Afectación en los beneficios de la cosecha mecanizada.	Percepción negativa en la alternativa desde el punto de vista económico-financiero.
	Falta de capacitación técnica	Afectación en la eficiencia de la cosecha mecanizada y posible aumento de accidentes laborales.	Mayor exigencia por parte de los colaboradores.	Problemas relacionados a la salud de los colaboradores (físicos y psicológicos)	Consecuencias laborales y fuera de la empresa ocasionados por los problemas de salud derivados del trabajo.
<b>Medio Ambiente</b>	Impacto ambiental por derrames.	Contaminación ambiental, daños a la biodiversidad.	Consecuencias en la salud de la biodiversidad, colaboradores o comunidades aledañas.	Deterioro en la imagen de la cosecha mecanizada como alternativa viable.	Percepción negativa para la sociedad u el gobierno sobre la implementación de la cosecha mecanizada.
	Malas condiciones de los terrenos	Aumento en los daños de cuchillas y otros componentes.	Aumento en los costos de mantenimiento.	Disminución en los beneficios percibidos.	Dependiendo de su complejidad afecta la confiabilidad en el método.
	Cosecha en verde	Aumento de plagas	Utilización de pesticidas químicos para su control.	Contaminación ambiental y del producto.	Afección en la salud de las personas y animales que entran en contacto con dichos químicos.
<b>Método</b>	Exigencia de corte con madurez optima	Irregularidades en la ejecución del plan de molida.	Atraso en el plan de molida.	Aumento de costos por replanificación del plan de molida (logística, costos operativos, disminución en productividad).	Impacto negativo en la confiabilidad en el método.
	Escasos planes de mantenimiento	Baja frecuencia de mantenimientos.	Deficiencia en el desarrollo de mantenimientos preventivos.	Aumento de fallas adultas.	Aumento en la aplicación de mantenimientos correctivos.

Participación variante de la cosecha mecanizada.	Quemas no programadas recurrentes.	Disminución en la participación de la cosecha mecanizada en la zafra.	Aumento de la cosecha tradicional aumentando la carga laboral de los trabajadores.	Consecuencias negativas en la salud de los trabajadores por estrés, fatiga, etc.
Poco conocimiento de otros tipos de mantenimiento	Visión de mejora continua deficiente o no se considera en la gestión empresarial de la empresa.	Poco entendimiento sobre los beneficios y consideraciones presentados por la cosecha mecanizada.	No se contempla en los planes de mejora en la empresa.	Falta de capacitación integral.

*Fuente: elaboración propia*

### **Generación y Evaluación de Alternativas de Solución**

Se hicieron tres propuestas de solución:

1. Tercerización del mantenimiento con normativa RCM
2. Sistema de Gestión de Mantenimiento
3. Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

Dichas propuestas serán evaluadas de acuerdo a 5 criterios de viabilidad: costos, probabilidad de éxito, horizonte de tiempo, sostenibilidad, y facilidad de implementación; y, sus parámetros serán: bajo, medio y alto. Los criterios de evaluación y sus parámetros se encuentran en el anexo 19.

El siguiente cuadro muestra las alternativas de solución ya evaluadas con los criterios de viabilidad.

Cuadro 5. Alternativas de evaluación evaluadas

<b>Criterio de viabilidad</b>	<b>Alternativa 1:</b> Tercerización del mantenimiento con normativa RCM	<b>Alternativa 2:</b> Sistema de Gestión de Mantenimiento	<b>Alternativa 3:</b> Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad
<b>Costos</b>	Alto	Alto	Medio
<b>Probabilidad de éxito</b>	Medio	Alto	Alto
<b>Horizonte de tiempo</b>	Medio	Alto	Medio
<b>Sostenibilidad</b>	Medio	Alto	Alto
<b>Facilidad de implementación</b>	Medio	Alto	Medio

Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos reflejan una ventaja en la alternativa 3 “Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad”; sus “costos” son medios, ya que, poseen las instalaciones apropiadas para realizar el mantenimiento, será necesario adquirir equipos (compresores, plantas generadoras para equipo en campo, entre otros) y herramientas; su personal será capacitado en la nueva modalidad de mantenimiento. La “probabilidad de éxito” es alta, porque su equipo de trabajo está comprometido para mejorar la productividad, y tendrán claros los objetivos a conseguir; su buena planificación dará como resultado el plan de mantenimiento, dentro de un marco estratégico que permitirá identificar prioridades y permitirá a la compañía alcanzar sus objetivos de manera más rápida, controlada y eficiente. El “horizonte de tiempo” será medio, porque sus resultados favorables se obtendrán en menos de un año. La “sostenibilidad” es alta, porque este tipo de mantenimiento es rentable para la empresa, por medio de la reducción de costos; posee un impacto positivo en el medio ambiente, y ofrece empleos dignos a los trabajadores. La “facilidad de implementación” es media, sus procedimientos son sencillos, prácticos y sistemáticos, tendrá variados canales de comunicación, y estará conformado por un buen equipo de trabajo.

## Conceptualización del Diseño o Propuesta de Solución

La propuesta de solución que se presenta a continuación se basa en los resultados del análisis de la problemática de indisponibilidad de las cosechadoras en El Salvador. El diagrama muestra los paquetes de acciones que se proponen para abordar las causas y sub causas identificadas.

*Ilustración 23. Conceptualización del Diseño o propuesta de solución*



*Fuente: Elaboración Propia*

Una solución integral para optimizar la operación de las cosechadoras de caña es el planteamiento de un conjunto de estrategias donde cada elemento de esta propuesta, está diseñado para abordar áreas específicas de mejora identificadas durante la investigación y cada paquete se establecerá los responsables y los medios de comunicación que trabajarán de forma entrelazada para formar un enfoque dinámico.

**Documentación de fallas y desencadenantes:** consiste en establecer un sistema estructurado para documentar todas las fallas identificadas y los desencadenantes asociados. Esto proporciona una base sólida para el análisis posterior y la toma de decisiones.

**Plan de implementación de mantenimiento enfocado en RCM y AMEF:** incluye un plan detallado para la implementación de las estrategias de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) y análisis de modos de falla y efectos (AMEF). Este plan define las actividades, responsabilidades y plazos para la ejecución efectiva de estas metodologías.

**Plan de capacitación para recursos humanos bajo el plan de mantenimiento:** establece un programa de capacitación integral para el personal involucrado en la operación y mantenimiento de la maquinaria. Este plan asegura que el equipo esté debidamente capacitado para ejecutar y mantener las nuevas estrategias de mantenimiento.

**Costo del plan:** presenta una estimación detallada de los costos asociados con la implementación y ejecución del plan propuesto. Esto incluye materiales, mano de obra, formación y posibles gastos imprevistos.

**Seguimiento y control:** establece los mecanismos para monitorear continuamente el rendimiento del plan de mantenimiento. Incluye indicadores clave de rendimiento (KPI) y protocolos para ajustar el plan según sea necesario. Este paquete asegura la adaptabilidad y eficacia a lo largo del tiempo.

## **DISEÑO DETALLADO**

### **Metodología**

En el presente capítulo, se expone el procedimiento metodológico adoptado para abordar los objetivos establecidos, delineando una serie de etapas para la aplicación sistemática y coherente de los conceptos teóricos previamente discutidos. Se subraya la trascendencia de formular una metodología precisa y pertinente, la cual facilitará la identificación de herramientas y técnicas esenciales para el avance de la investigación.

El propósito principal es minimizar los tiempos de inactividad y reparación de los equipos a través de la implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), basándose en los estándares de las normas SAE JA 1011 y JA 1012. Esto implica un análisis detallado de la operatividad y fallos potenciales de los equipos, con el objetivo de establecer un programa de mantenimiento que garantice la máxima eficiencia y disponibilidad de estos, contribuyendo significativamente a la optimización de las operaciones en los ingenios azucareros de El Salvador.

Se realizaron tres fases para alcanzar los objetivos planteados, teniendo:

### ***Fase I: Valoración de los de Sistemas Críticos***

Esta etapa está conformada por dos partes: recolección de información y elección de sistemas críticos. En la primera se presenta información descriptiva de un ingenio de la región, para tener un mejor panorama del área en estudio, como la cantidad de máquinas sujetas de estudio, la cantidad de fallas generadas en el periodo de 22/23, registro de inicio y cierre de fallas, y otros; también se presentan los costos del mantenimiento actual.

En la segunda parte, presenta datos de la disponibilidad mecánica de las cosechadoras en el periodo 22/23, y la selección de los subsistemas o componentes más críticos de las cosechadoras, por medio de un diagrama de Pareto, aquellos que presentan fallas más frecuentes y que afectan la disponibilidad de la maquinaria para la operación de cosecha. También se presentan los explosivos de los subsistemas críticos en estudio.

### **Recolección de información**

Un ingenio de la región<sup>1</sup> por medio del taller de mantenimiento de flota, proporcionó una base datos con las fallas registradas durante la zafra 22/23, estos datos serán de suma importancia para desarrollar la siguiente parte “elección de sistemas críticos”.

De manera ordenada se presenta información de la compañía, relacionada a las cosechadoras y sus fallas. Agregar que, en la etapa anterior se investigó el número total de máquinas cosechadoras de cada ingenio azucarero, mediante una encuesta que se realizó a los mismo, donde se logró la participación de diferentes líderes de cosecha. Además, se consultó con el CONSAA<sup>2</sup> para confirmar la cantidad de máquinas registradas por cada ingenio. En esa misma encuesta se recolectó información sobre las fallas recurrentes que presentaban las máquinas y ha sido congruente con el análisis de la base de datos proporcionada por un ingenio de la región; vale la pena mencionar que, la información proporcionada por el ingenio es de las 22 cosechadoras que posee, y esto representa el 50% del parque de este tipo de maquinaria en el país. Otro dato importante que se presenta son los costos del mantenimiento que el ingenio tuvo en la zafra 22/23; estos datos serán de gran ayuda para la etapa final de este trabajo de grado, para compararlos con los costos de la propuesta, y posterior realizarle sus respectivos análisis.

### **Elección de sistemas críticos**

Antes de seleccionar los componentes críticos, se presenta la disponibilidad mecánica de las cosechadoras del ingenio estudiado en el periodo 22/23. Posteriormente, se efectuó un minucioso proceso de selección y clasificación de los subsistemas y componentes más críticos utilizados en la cosecha mecanizada.

---

<sup>1</sup> Ingenio Azucarero Salvadoreño.

<sup>2</sup> Consejo Salvadoreño de la Agroindustria Azucarera

La base de datos proporcionada por la compañía fue analizada por los desarrolladores de esta tesis y con la validación o visto bueno de los supervisores de mantenimiento y al jefe de la división de mecanización de la cosecha, conformando así un análisis de Pareto de donde salió un total de componentes más críticos y que más problemas han representado durante la zafra 22/23, causando paros y atenciones de mantenimiento en la maquinaria de cosecha mecanizada.

El propósito fundamental de esta fase radica en acotar el análisis a aquellos elementos cuyo funcionamiento incide de manera significativa en la eficiencia y continuidad del proceso productivo. Luego de haber encontrado los componentes más críticos, se presentan los dibujos explosivos de los mismos, para tener una mejor visión de ellos.

### ***Fase II: Identificación de Fallas y los Efectos de los Equipos Críticos***

En esta etapa del estudio, los equipos y componentes de la maquinaria de cosecha mecanizada fueron meticulosamente examinados para determinar sus funciones esenciales, así como las posibles fallas, causas y consecuencias de estas en la operatividad del proceso de cosecha. El primer paso consistió en identificar las funciones específicas de cada subsistema y componente crítico seleccionado, apoyándose en la información proporcionada por el ingenio azucarero, la descripción detallada de las operaciones de cosecha y los estándares de rendimiento y seguridad que deben cumplirse. Se tuvieron en cuenta, además, las condiciones bajo las cuales opera cada pieza de equipo, garantizando así un análisis integral que refleje fielmente la realidad operacional de la cosecha mecanizada. Este enfoque permitió establecer una base sólida para el desarrollo posterior de estrategias de mantenimiento centradas en la confiabilidad, orientadas a optimizar la eficiencia y la seguridad del proceso de cosecha mecanizada.

## **Aplicación de AMEF**

Para la aplicación del Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (AMEF) en el contexto de la cosecha mecanizada, se solicitó la colaboración de los responsables de la gestión y operación de los equipos clave en este proceso, así como los encargados de realizar las reparaciones y correcciones. Se obtuvo el apoyo del personal de mantenimiento, enfocándose en elementos críticos de la maquinaria tales como despuntador, base cortadora, rodos alimentadores, sistema hidráulico, conjunto picador, elevador de caña y así como las afectaciones, consecuencias y costos de dichas fallas.

### ***Fase III: Construcción del Plan de Mantenimiento***

La fase final, denominada "Elaboración del Plan de Mantenimiento", constituye un componente esencial de esta investigación. En ella se desarrolla una propuesta integral de mantenimiento enfocada en los equipos de cosecha mecanizada utilizados en los ingenios azucareros de El Salvador. Este plan busca no solo preservar la funcionalidad y eficiencia de la maquinaria, sino también mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, contribuyendo significativamente a la sostenibilidad de las operaciones en el sector azucarero salvadoreño.

### **Asignación de actividades de mantenimiento**

Se utilizó la hoja de trabajo RCM para la generación de las acciones de la propuesta de mantenimiento y los tiempos de inicio y fin de cada una, además de los responsables de cada actividad.

### **Llenado de hojas de decisión RCM**

Toda la información recopilada y analizada se registró en las hojas de decisión RCM. Estas hojas incluyeron:

- La función, falla funcional y modo de falla.

- Evaluación de las consecuencias.
- Tareas proactivas y de default seleccionadas.
- Frecuencia inicial de las tareas y responsables de su ejecución.

### **Manuales organizacionales**

Se presenta de manera ordenada y sistemática la información relacionada a la estructura orgánica y las funciones asignadas a cada elemento de la organización, así como las tareas específicas y la autoridad asignada a cada miembro del organismo. Es una herramienta de apoyo para asegurar el cumplimiento de los procedimientos.

### **Plan de capacitación**

En este documento esquematizado se presenta, de manera integral, los aprendizajes esperados al finalizar la capacitación; está enfocado en el área de mecánica automotriz a fin de ejecutar correctamente las tareas asignadas tales como: armado de transmisión manual/transeje, calibración de válvulas de motor, medición de compresiones de motor y otros.

### **Evaluación de riesgos**

En el desarrollo de la operación de cosecha mecanizada, existen diferentes riesgos, para los operadores y maquinaria, y se vea afectada la productividad; como los son, los riesgos eléctricos, por colisión, fatiga, entre otros.

Se elaboró una matriz con los principales riesgos que pueden ocurrir, y sus respectivas descripciones; se midió la probabilidad y el impacto, que dio como resultado el nivel del riesgo; con los resultados, se recomendaron medidas de mitigación, y acciones de producción.

### **Comunicación**

Presenta el flujo de la información entre cada parte funcional del área de cosecha mecanizada. La comunicación interna efectiva es fundamental para el buen desarrollo de las

actividades diarias y para la toma de decisiones, da como resultado una gestión de procesos eficiente y una colaboración exitosa.

## Resultados

### Fase I: Valoración de los Equipos Críticos

Los hallazgos de este estudio se estructuraron conforme a tres fases esenciales, coherentes con la metodología aplicada en esta investigación, enfocada en el desarrollo de un plan de mantenimiento RCM. Las fases comprenden: la valoración de sistemas críticos, la identificación de las fallas y los efectos en dichos equipos, y la formulación del plan de mantenimiento.

#### Recolección de información

A continuación, se presenta un resumen de la información contenida en el Archivo de Registro de Fallas:

*Tabla 13. Puntos relevantes de Archivo de Registros de Fallas de maquinaria de cosecha mecanizada de caña de azúcar*

Descripción de la información	Número	Relevancia
Total, cosechadoras del ingenio estudiado	22	Esto representa más del 50% del parque de este tipo de maquinaria en el país.
Paros por fallas	11,000	Todos los paros por falla son registrados y asociados al sistema correspondiente.
Detalles de tipo de paro	4	Los paros pueden ser operativos, fallas, mantenimiento y condiciones externas.
Paros por Mantenimiento	10,000	Paros registrados exclusivamente por actividades de mantenimiento preventivo.
Tiempo registrado	10,000 horas	Todo el tiempo de paro asociado a intervención mecánica está registrado en el Archivo de Registro de Fallas.

Ubicación	Haciendas	Todas las haciendas registradas permiten una clasificación de las zonas.
Codificación de las máquinas	22	Todas las máquinas tienen un código único y esto permite identificar zonas, responsables y proveedor de servicio.
Registro de Inicio y cierre de fallas	Todas	Todos los registros de paro tienen un inicio y cierre dentro de la bitácora.
Razón de paro	20+	Hay más de 20 razones de paro para registrar.
Descripción del paro	60+	Hay más de 60 paros específicos asociados a diferentes sistemas de la máquina.
Periodo de registro	150 días	Se registran los datos de toda la zafra.
Zonas de trabajo	3	Están los registros de las 3 zonas de trabajo de la cosecha de caña: Occidente, paracentral y oriente.
Proveedores	3	Están los registros de los 3 proveedores de servicio de mantenimiento de la maquinaria, propia y rentada.
Sistemas y subsistemas de la máquina	10+	La máquina cuenta con muchos sistemas mecánicos e hidráulicos que contienen sistemas de dirección, transmisión, motor y más.
Marcas y modelos de cosechadoras	4	Se registran las marcas y modelos de las máquinas.

*Fuente. Elaboración propia.*

Además de la información sobre paros y fallas de maquinaria, también se recopiló información relacionada con los costos de los mantenimientos realizados en la maquinaria de cosecha mecanizada que están catalogados como propios y cuyo mantenimiento es gestionado por el taller agrícola del ingenio.

### **Costos**

Los costos de mantenimiento de las 22 máquinas cosechadoras del ingenio estudiado en el año 2023 fueron de \$ 1,415,428.38, de los cuales, \$ 792,639.89 corresponden a mantenimiento anual y \$ 622,788.49 de mantenimiento realizado durante el periodo de zafra 22/23.

Se practican tres tipos de mantenimiento, en primer lugar, el mantenimiento anual que es donde se realizan revisiones rutinarias, trabajos de reparación, reemplazo de piezas desgastadas o no funcionales, lubricación de todas las partes en movimiento con el aceite recomendado por el fabricante, entre otros; en general, se trabaja el área mecánica, soldadura, tornera, y eléctrica.

En mantenimiento correctivo es el realizado para corregir un mal funcionamiento de la máquina. Algunas fallas son las siguientes: en sistema de base cortadora, fuga de aceite hidráulico, reemplazo de mangueras del sistema hidráulico, y reparaciones mecánicas en general.

El mantenimiento preventivo se enfoca en garantizar en todo momento el perfecto estado de los equipos para evitar averías, este tipo de mantenimiento es el de tipo “rutinario”, se realiza en diferentes intervalos de tiempo, cada 300, 600, 900, 1200 y 1500 horas.

Los costos de estos 3 tipos de mantenimiento se detallan a continuación:

*Tabla 14. Costos de mantenimiento de cosechadoras en zafra 22/23*

<b>TIPO DE MANTENIMIENTO</b>	<b>MONTO</b>
MANTENIMIENTO ANUAL	\$ 339,702.81
MANTENIMIENTO CORRECTIVO	\$ 736,022.76
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	\$ 339,702.81
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1,415,428.38</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

Los datos en la tabla anterior reflejan que el mantenimiento correctivo representa un 52% de los costos total de mantenimiento invertidos en la maquinaria en el período 22/23 y el mantenimiento preventivo y anual representan un 24% cada uno. El mantenimiento correctivo ocupa el primer lugar en costos de mantenimiento y este es el resultado de todas las fallas que surgen en zafra y que comprometen la disponibilidad de la maquinaria.

## Elección de sistemas críticos

Primeramente, se determinó la disponibilidad de la maquinaria a lo largo de la zafra 22/23, se muestran en la tabla 2 y gráfico 1.

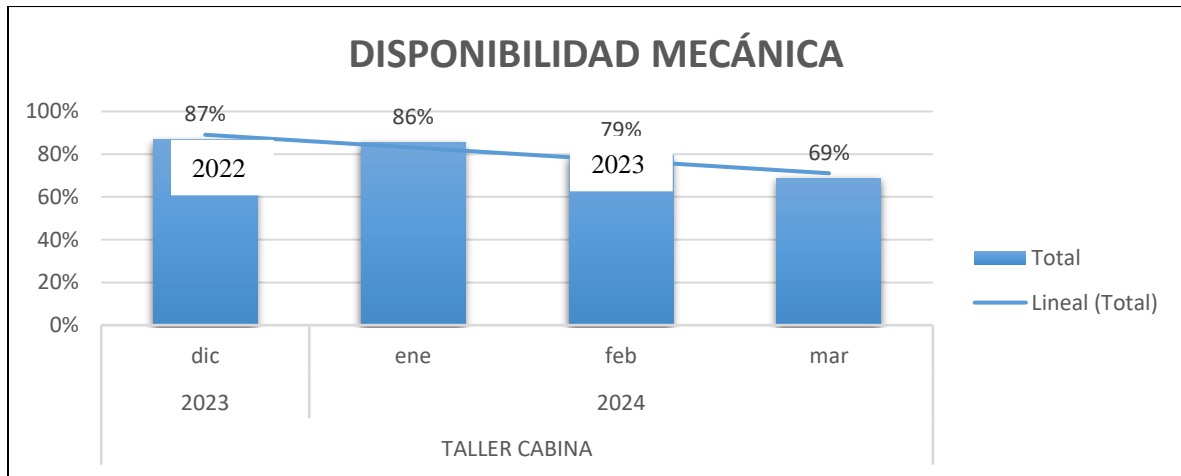
Tabla 15. Disponibilidad mecánica Z22/23

Asistencia	Años	Inicio	Promedio de % Disponibilidad
<b>TALLER CABINA</b>	<b>2022</b>	Dic	87%
	<b>2023</b>	Ene	86%
		Feb	79%
		Mar	69%

Fuente. Elaboración propia

La baja disponibilidad mecánica es la razón principal para analizar a profundidad la razón de dicha problemática.

Grafica 4. Disponibilidad mecánica de las cosechadoras en la Z22/23



Fuente. Elaboración propia.

El comportamiento de la disponibilidad mecánica a lo largo de la zafra 22/23 tuvo una tendencia negativa por debajo del resultado esperado que es 85%.

### Análisis de fallas y selección de sistemas críticos

A continuación, se presenta una tabla y gráfico donde se observan los resultados de frecuencia en los sistemas de las cosechadoras, tomando en cuenta que los registros son del período de zafra el cual dura 5 meses en el país y la región. Se aplicó un análisis de Pareto para localizar la frecuencia de fallas clasificándolas por tipo de falla; en el eje X se encuentran la razón de paro que va desde mecánica, hidráulica y hasta llantería o inspección de 360°. Mientras que en el eje Y se encuentra el número de eventos que se registró en casa tipo de paro. Cualquiera sea la razón por la que la máquina para, se registra en este sistema y se asocia a una razón de paro. Además, se realizó un segundo análisis, pero desde la perspectiva del tiempo, se tomó en cuenta cuanto tiempo de paro representó cada uno de esos problemas registrados.

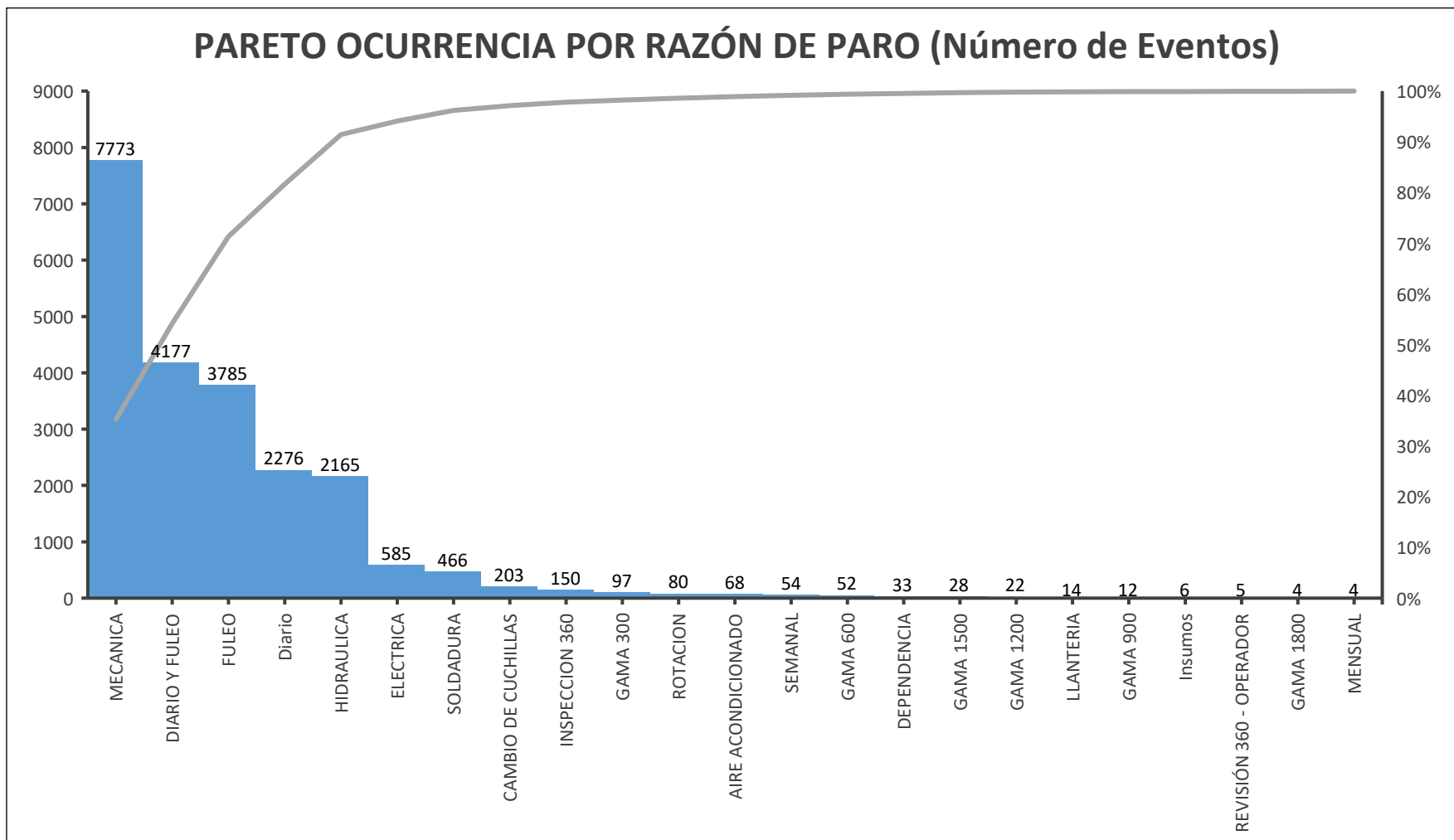
*Tabla 16. Análisis de Pareto por razón de paro (Eventos)*

<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Cuenta de Razón de Paro</b>	<b>Acumulado</b>
MECÁNICA	7773	35.24%
DIARIO Y FULEO	4177	54.17%
FULEO	3785	71.33%
DIARIO	2276	81.65%
HIDRÁULICA	2165	91.46%
ELÉCTRICA	585	94.12%
SOLDADURA	466	96.23%
CAMBIO DE CUCHILLAS	203	97.15%
INSPECCIÓN 360	150	97.83%
GAMA 300	97	98.27%
ROTACIÓN	80	98.63%
AIRE ACONDICIONADO	68	98.94%
SEMANTAL	54	99.18%
GAMA 600	52	99.42%

DEPENDENCIA	33	99.57%
GAMA 1500	28	99.70%
GAMA 1200	22	99.80%
LLANTERÍA	14	99.86%
GAMA 900	12	99.91%
INSUMOS	6	99.94%
REVISIÓN 360 - OPERADOR	5	99.96%
GAMA 1800	4	99.98%
MENSUAL	4	100.00%

*Fuente. Elaboración propia.*

Grafica 5. Ocurrencia por razón de paro (eventos)



Fuente: elaboración propia.

El gráfico muestra que la mayoría de los eventos de falla se dan dentro de la razón mecánico y la mayoría de los sistemas que se han seleccionado para su análisis y aplicación del RCM están dentro de esta razón, lo que denota congruencia en la información recopilada.

Además, se realizó un segundo análisis, pero desde la perspectiva del tiempo, se tomó en cuenta cuanto tiempo de paro representó cada uno de esos problemas registrados. El tiempo de paro sale del registro que realiza el operador en campo donde con la ayuda de una herramienta diseñada por el ingenio estudiado, registran todos los paros ocurridos durante la jornada.

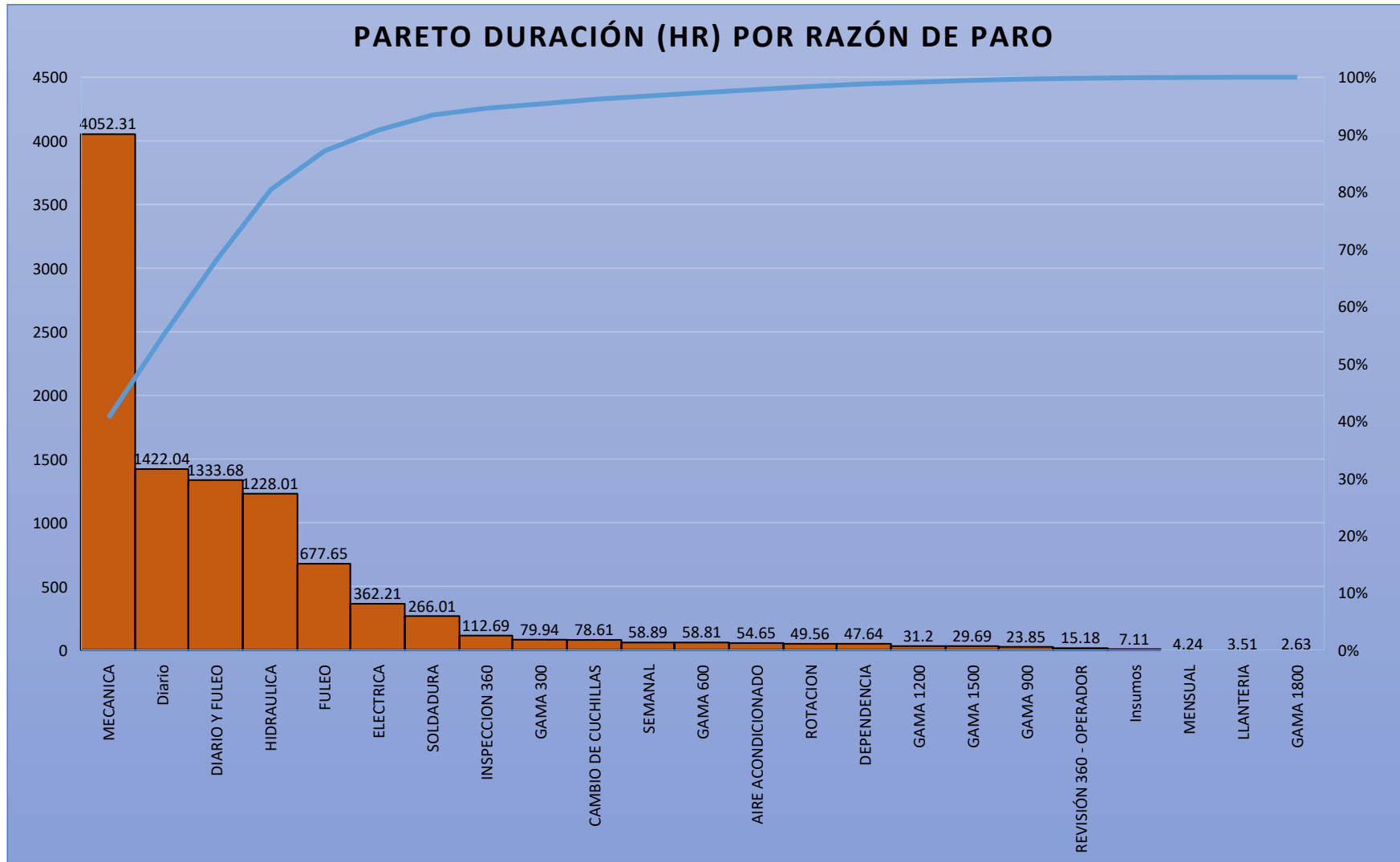
*Tabla 17. Análisis de Pareto por razón de paro (Tiempo en horas)*

<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Suma de Duración (hora)</b>	<b>Acumulado</b>
MECÁNICA	4052.31	40.52%
DIARIO	1422.04	54.74%
DIARIO Y FULEO	1333.68	68.08%
HIDRÁULICA	1228.01	80.36%
FULEO	677.65	87.14%
ELÉCTRICA	362.21	90.76%
SOLDADURA	266.01	93.42%
INSPECCIÓN 360	112.69	94.54%
GAMA 300	79.94	95.34%
CAMBIO DE CUCHILLAS	78.61	96.13%
SEMANAL	58.89	96.72%
GAMA 600	58.81	97.31%
AIRE ACONDICIONADO	54.65	97.85%
ROTACIÓN	49.56	98.35%
DEPENDENCIA	47.64	98.83%
GAMA 1200	31.2	99.14%

GAMA 1500	29.69	99.43%
GAMA 900	23.85	99.67%
REVISIÓN 360 - OPERADOR	15.18	99.83%
INSUMOS	7.11	99.90%
MENSUAL	4.24	99.94%
LLANTERÍA	3.51	99.97%
GAMA 1800	2.63	100.00%

*Fuente. Elaboración propia.*

Grafica 6. Duración y razones de paro (tiempo en horas)

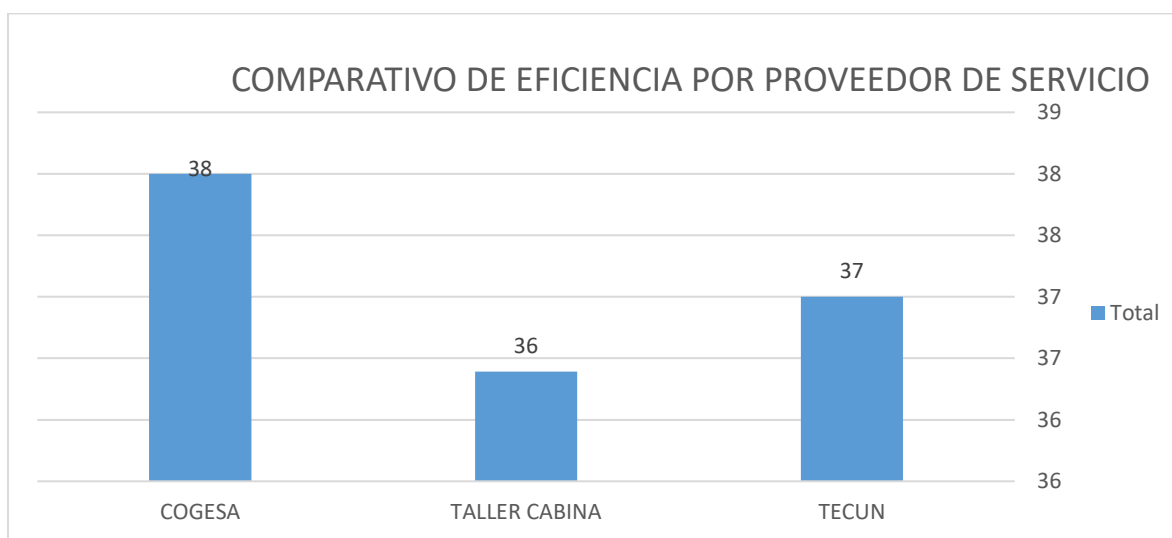


Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico se analiza las razones de paro desde la perspectiva de tiempo y se puede observar que es la razón mecánica la que siempre encabeza los resultados.

Además, se tuvo acceso a la información de eficiencia que registra el ingenio estudiado. En este caso se define como la cantidad de toneladas por hora que se corta con una máquina y es la piedra angular del abastecimiento al ingenio pues refleja qué tan bueno o malo está el despacho de caña desde campo cuando la máquina está disponible mecánicamente.

*Grafica 7. Eficiencia de cosechadoras por proveedor*



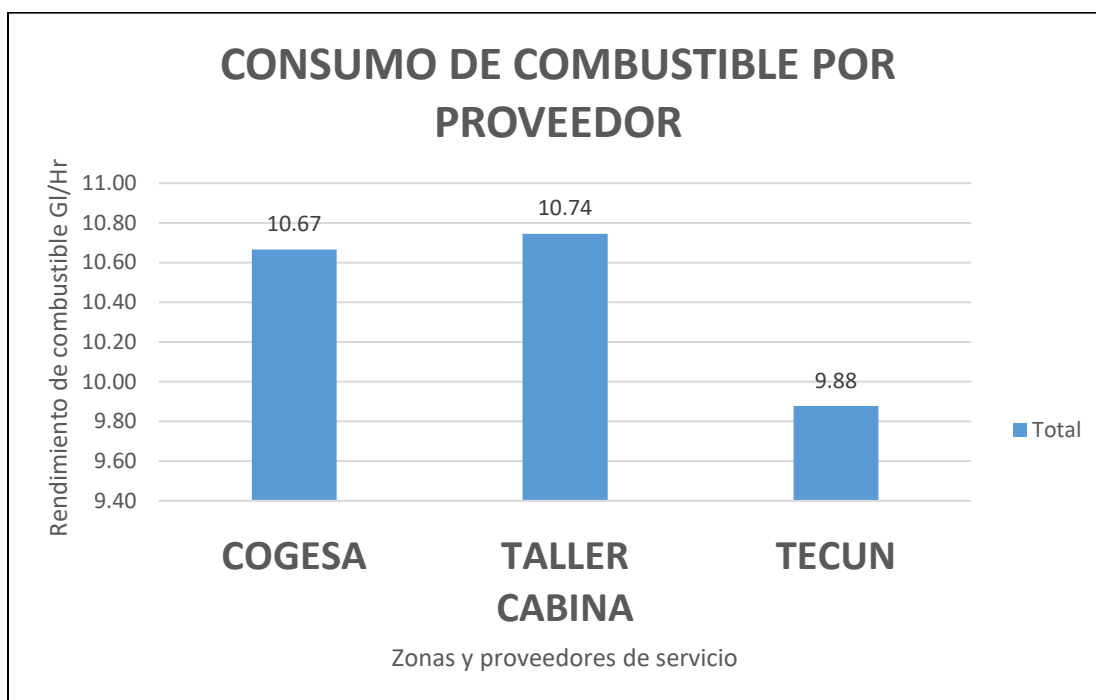
*Fuente. Elaboración propia.*

El registro muestra que la eficiencia alcanzada con la maquinaria administrada por Taller del ingenio estudiado es ligeramente menor que la registrada por las máquinas de los prestadores de servicio, esto se debe principalmente a las condiciones de operación, productividad y dimensiones de las áreas de cosecha en las diferentes zonas del país.

También se incluyen los registros de rendimiento de combustible. Se mide en consumo por hora y se clasifica por proveedor pues se toma en cuenta que no son las mismas marcas y modelos

de máquinas en todas las zonas. Para la zona occidente, son máquinas John Deere CH570 y John Deere 3520; para la zona paracentral son John Deere CH570 únicamente y para la zona oriental son máquinas marca CASE y modelos A8810 y A9900.

*Grafica 8. Rendimiento de combustible de cosechadoras por zona y proveedor*



*Fuente. Elaboración propia.*

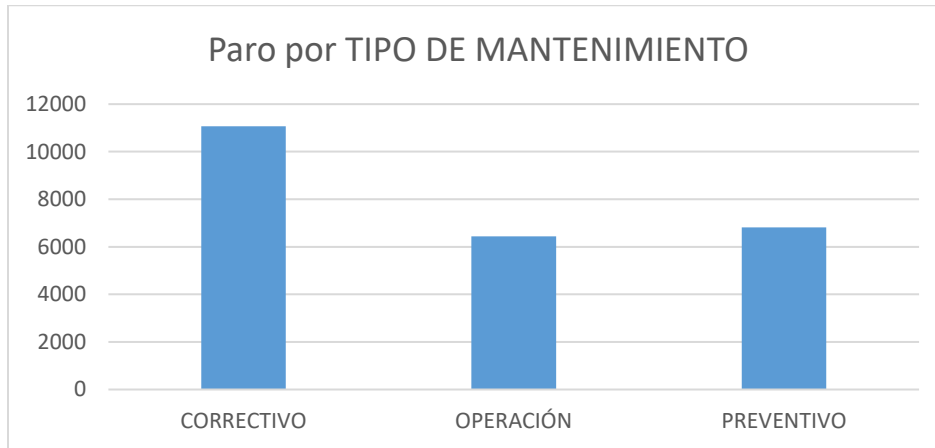
Los resultados de este análisis se muestran en el siguiente gráfico y el rendimiento es más bajo en la zona oriente porque las cosechadoras de marca CASE son más eficientes en el ahorro de combustible debido al diseño y bondades de configuración de su motor de combustión interna, Cursor C11.

### **Paros por tipo de mantenimiento**

En el contexto de esta tesis, se analizó la incidencia del mantenimiento preventivo en la operatividad de la maquinaria utilizada por el ingenio estudiado, identificando que dichas

actividades, si bien esenciales, conllevan a períodos de inactividad que impactan directamente en las horas productivas de la cosechadora. Más aún, se constató que el enfoque actual del mantenimiento preventivo aplicado a estas máquinas no se alinea completamente con las recomendaciones estipuladas por los fabricantes en los manuales técnicos de las cosechadoras.

*Grafica 9. Número de eventos por tipo de paro*



*Fuente: Elaboración propia.*

Este desajuste sugiere la posibilidad de que el mantenimiento preventivo implementado no sea el óptimo, lo cual podría estar contribuyendo innecesariamente a la extensión de los tiempos de parada, afectando la eficiencia global de las operaciones de cosecha. Esta observación resalta la importancia de revisar y ajustar las prácticas de mantenimiento preventivo existentes, asegurándose de que estas estén en plena concordancia con las directrices específicas del fabricante, con el fin de optimizar el tiempo de disponibilidad de las cosechadoras y mejorar la productividad en el campo.

En la etapa anterior se realizó la selección de los subsistemas críticos a los cuales se les aplicará AMEF, detalle a continuación:

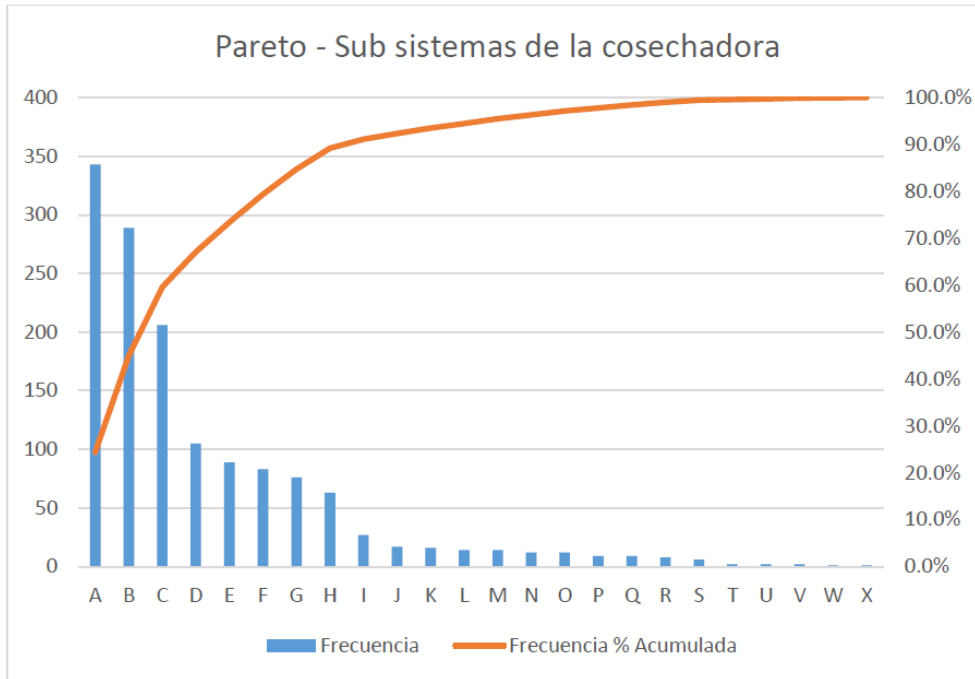
Tabla 18. Subsistemas críticos

Código del sub sistema	Sub sistema	Tiempo de paro	Frecuencia	Frecuencia %	Frecuencia % Acumulada	Tiempo de paro %	Tiempo de paro Acumulado %
A	Conjunto picador	1140:48:00	343	24.4%	24.4%	20.57%	20.57%
B	Sistema hidráulico	1183:48:00	289	20.6%	45.0%	21.35%	41.92%
C	Base cortadora	720:30:00	206	14.7%	59.6%	12.99%	54.91%
D	Sistema eléctrico	534:47:00	105	7.5%	67.1%	9.64%	64.56%
E	Rodaje	338:27:00	89	6.3%	73.4%	6.10%	70.66%
F	Extractor primario	367:54:00	83	5.9%	79.3%	6.63%	77.30%
G	Divisores	280:30:00	76	5.4%	84.7%	5.06%	82.35%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla se aprecian los subsistemas que sufren más fallas y por lo cual fueron seleccionados para la aplicación de AMEF.

Grafica 10. Subsistemas con mayor frecuencia de falla



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa que el 80% de las fallas están agrupadas en 6 subsistemas únicamente, estos son: Base cortadora, conjunto picador, extractor primario, sistema de rodaje, sistema eléctrico y sistema hidráulico.

### Dibujo explosivo de los sistemas

Se describen los dibujos explosivos con el listado de los componentes de los seis subsistemas seleccionados como críticos (véase anexo 25).

## Fase II: Identificación de fallas y los efectos de los equipos críticos

### Aplicación de AMEF

A continuación, el desarrollo del análisis de modos y efectos de falla de los seis subsistemas denominados críticos: Conjunto picador/trozador, Sistema de Base Cortadora, Extractor Primario, Sistema de Rodaje/Banda o Llanta, Sistema Eléctrico y Sistema Hidráulico.

## Subsistema 1 “Conjunto picador/Trozador”

Cuadro 6. AMEF Conjunto picador/trozador

D	Sistema/Subsistema	Modo de Falla	Causa Potencial de Falla	Efecto de la Falla	Gravedad (1-10)	Ocurrencia (1-10)	Detección (1-10)	NPR	Responsable	Fecha de Implementación	Estado	
1	Conjunto Picador / Trozador	Descalibración de Cuchillas	Impacto de agente del ambiente como piedra, troncos y metales dentro del lote.	Parada no planificadas por conjunto picador atorado. Imposible cortar.	8	8	5	320	Equipo de Operación		Programado	
			Desgaste normal del elemento de corte.	Incremento de los costos operativos por altos consumos de cuchillas.					Equipo de Mantenimiento		Programado	
			Instalación de cuchillas de mala calidad.						Equipo de Operación		Programado	
			Mal procedimiento de calibración.	Aumento de la materia extraña presente en la materia prima.					Equipo de Operación / Operadores.		Programado	
		Desgaste de Engranajes / Quebradura de engranajes	Fatiga por caduque de vida útil.	Parada no planificadas por conjunto picador atorado. Imposible cortar.	8	4	10	320	Equipo de Mantenimiento		Programado	
			Cambio de aceite de caja de engranajes fuera de programación.							Equipo de Mantenimiento		Programado
			Lubricante de mala calidad.						Altos costos de reparación.	Equipo de Mantenimiento		Programado
		Deformación de bases portacuchillas	Impacto de agente del ambiente como piedra, troncos y metales dentro del lote.	Aumento de la materia extraña presente en la materia prima.	8	8	4	256	Equipo de Mantenimiento		Programado	
			Tornillería no cumple con estándares de dureza sugeridos por el fabricante.	Incremento de los costos operativos por altos consumos de cuchillas.					Equipo de Mantenimiento		Programado	
			Exceso de tierra en el alojamiento.	Incremento de tiempos de paro asociados al reemplazo de cuchillas por desgaste prematuro.					Equipo de Mantenimiento		Programado	
		Fugas de aceite en caja de engranajes	Exceso de tierra en contacto con los sellos o retenedores.	Contaminación en el lote por derrames de aceite.	3	5	2	30	Equipo de Mantenimiento		Programado	
			Caducación de vida útil del elemento sellador.	Incremento de costos de reparación.					Equipo de Operación / Operadores.		Programado	
			Exceso de aceite en el interior de la caja de engranajes.	Incremento de tiempos de paro por reemplazo de componentes selladores.					Equipo de Mantenimiento / Operadores		Programado	
		Discos o conijete del embrague dañados.	Impacto de agente del ambiente como piedra, troncos y metales dentro del lote.	Paros y reducción de eficiencia por atoramientos durante la cosecha.	8	4	6	192	Equipo de Mantenimiento / Operadores		Programado	
			Mal procedimiento de ajuste del apriete en el disco.	Interrupción en la cosecha, daños en el sistema de trozador.					Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.		Programado	
Mala calidad de los componentes (discos/cojinetes).	Puede causar daños en los componentes de ensamblaje como eje y volante cuando no se detecta a tiempo o durante la reparación.		Equipo de Mantenimiento						Programado			

Fuente: Elaboración propia

## Subsistema 2 “Sistema de Base Cortadora”

Cuadro 7. AMEF Sistema de Base Cortadora

D	Sistema/Subsistema	Modo de Falla	Causa Potencial de Falla	Efecto de la Falla	Gravedad (1-10)	Ocurrencia (1-10)	Detección (1-10)	NPR	Responsable	Fecha de Implementación	Estado
2	Sistema de Base Cortadora	Desgaste en los platos de base cortadora.	Mala calidad del componente	Daños en el cultivo debido a un anclaje incorrecto de las cuchillas.	5	3	2	30	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.		Programado
			Daños por mala operación del equipo.	Mala calidad de corte.					Equipo de Operación		Programado
			Desgaste por fricción en contacto con el suelo.	Incremento de costos de reparación.					Equipo de Mantenimiento		Programado
			Instalación incorrecta.	Interrupción del abastecimiento de caña.							
		Ruptura de fusible de ejes/piernas.	Sobrecarga inesperada por impacto con piedra, troncos o metales dentro del lote.	Paros no planificados por fusible cortado, imposible operar.	10	5	8	400	Equipo de Operación		Programado
			Desgaste por fricción en contacto con el suelo.	Incremento de costos de reparación.					Equipo de Mantenimiento		Programado
			Fatiga de material.	Interrupción del abastecimiento de caña.							
			Condiciones de operación no adecuadas.	Afectación del indicador de caña/máquina/día.							
			Falta de revisión oportuna.	Daños en chasis de la máquina.							
		Falta de mantenimiento adecuado.									
		Fuga de aceite por sello de ejes/piernas.	Desgaste por daño mecánico	Interrupción en la cosecha por reparación.	10	4	7	280	Equipo de Mantenimiento		Programado
			Daños del sello por contaminación de tierra	Contaminación del cultivo y lote.					Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.		Programado
			Exceso de temperatura de trabajo	Incremento de costos de reparación.							
			Presión de trabajo elevada	Impacto ambiental por contaminación.							
			Mala calidad del componente	Disminución de eficiencia operativa diaria.							
			Desalineación de los ejes por daños mecánicos	Daños en componentes internos por falta de lubricación adecuada.							
			Golpes con piedras dentro del área de cosecha.								
		Quebradura en anclajes laterales.	Golpes con piedras dentro del área de cosecha.	Desalineación de base cortadora, interrupción de abastecimiento de caña.	8	4	5	160	Equipo de Mantenimiento		Programado
			Fatiga de material.	Incremento de costos de reparación.					Equipo de Mantenimiento		Programado
			Mala calidad del componente	Paros no planificados por falta de repuestos.							
		Desgaste de Engranajes / Quebradura de engranajes	Fatiga de material.	Parada no planificada por base cortadora dañada. Imposible cortar.	10	6	8	480	Equipo de Mantenimiento		Programado
			Mala calidad del componente	Daños en componentes internos por diagnóstico tardío.					Equipo de Mantenimiento.		Programado
			Golpes con piedras dentro del área de cosecha.								
Daños en rodamientos por mala calidad de componentes.											
Desalineación de los ejes por daños mecánicos	Paros no planificados por falta de repuestos.		Equipo de Mantenimiento.						Programado		
Falta de aceite/lubricación											

Fuente. Elaboración propia.

### Subsistema 3 “Extractor Primario”

Cuadro 8. AMEF Extractor primario

D	Sistema/Subsistema	Modo de Falla	Causa Potencial de Falla	Efecto de la Falla	Gravedad (1-10)	Ocurrencia (1-10)	Detección (1-10)	NPR	Responsable	Fecha de Implementación	Estado
3	Extractor Primario	Quebradura en estructura de soporte del motor hidráulico	Vibración por desgaste irregular en aspas del ventilador.	Interrupción en la cosecha por reparación.	6	4	4	96	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.		Programado.
			Golpes por mala operación.	Incremento de costos de reparación.					Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Retrabajos de soldaduras mal ejecutadas.	Daños en el aro interno por desbalance en la estructura porta aspas.					Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.		Programado.
			Mala calidad del material de fabricación del soporte.	Vibraciones excesivas que causarán daños en eje y sello.					Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.		Programado.
		Daños en mangueras hidráulicas de alta presión.	Presión hidráulica demasiado elevada	Interrupción en la cosecha por reparación.	8	6	7	336	Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Válvula de alivio de presión defectuosa o mal calibrada	Contaminación del cultivo y lote.					Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Manguera de mala calidad	Incremento de costos de reparación.					Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Atrapamiento	Impacto ambiental por contaminación.					Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Instalación incorrecta causa dobladuras o torceduras.	Disminución de eficiencia operativa diaria.					Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.		Programado.
			Degradación del material por altas temperaturas o exposición al sol.	Riesgo de incendio por contaminación de aceite y altas temperaturas en componentes.					Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.		Programado.
		Fugas de aceite por sello del eje del motor hidráulico	Desgaste por daño mecánico	Contaminación del cultivo y lote.	6	4	7	168	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.		Programado.
			Daños del sello por contaminación de tierra.	Incremento de costos de reparación.					Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Exceso de temperatura de trabajo	Impacto ambiental por contaminación.					Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Presión de trabajo elevada	Disminución de eficiencia operativa diaria.					Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Mala calidad del componente	Riesgo de incendio por contaminación de aceite y altas temperaturas en componentes.					Equipo de Mantenimiento.		Programado.
		Desgaste en el aro del extractor	Vibración por desgaste irregular en aspas del ventilador.		7	8	2	112	Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Desalineación del eje causa contacto de las aspas con el aro.	Disminución de la eficiencia de limpieza en la materia prima, incremento de Materia Extraña.					Equipo de Operación.		Programado.
			Material del aro inadecuado para la aplicación y tipo de trabajo.	Incremento de costos de reparación.					Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Condiciones ambientales adversas, exceso de tierra y arena en el flujo de materia prima.	Interrupción en la cosecha por reparación.					Equipo de Operación.		Programado.
			Fallas en el montaje.	Daños en el aro externo del aro por atención tardía.					Equipo de Operación.		Programado.
Desgaste del gorro del extractor.	Fatiga del material.		8	8	2	128	Equipo de Mantenimiento.		Programado.		
	Condiciones ambientales adversas, exceso de tierra y arena en el flujo de materia prima.	Disminución de la eficiencia de limpieza en la materia prima, incremento de Materia Extraña.					Equipo de Mantenimiento.		Programado.		
	Operación inadecuada, exceso de RPM en el ventilador.	Incremento de costos de reparación.					Equipo de Operación.		Programado.		
	Fatiga del material.	Atoramientos en el flujo de caña del elevador por exceso de materia extraña.					Equipo de Operación.		Programado.		

Fuente. Elaboración propia.

## Subsistema 4 “Sistema de Rodaje / Banda o Llanta”

Cuadro 9. AMEF Sistema de rodaje/Banda o Llanta

D	Sistema/Subsistema	Modo de Falla	Causa Potencial de Falla	Efecto de la Falla	Gravedad (1-10)	Ocurrencia (1-10)	Detección (1-10)	NPR	Responsable	Fecha de Implementación	Estado
4	Sistema de Rodaje / Banda o Llanta.	Falla en Rodamientos	Contaminación de polvo o agua.	Ruido excesivo y vibraciones.	9	2	8	144	Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Mala calidad del repuesto.	Incremento de los costos de reparación y pérdidas de tiempo.					Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Lubricación deficiente.	Daños estructurales y componentes aledaños al componentes.					Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.		Programado.
			Fatiga del material.	Riesgo de seguridad para el operador por volcadura o afectación en sistema de dirección.					Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Cargas excesivas.						Equipo de Mantenimiento.		Programado.
		Rotura de ejes.	Sobrecarga mecánica.	Costos elevador por reparación y reemplazo.	10	2	10	200	Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Fatiga del material.	Posible daño a componentes aledaños por afectación durante falla.					Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Diseño inadecuado para soportar la carga de trabajo.	Riesgo de lesiones por volcadura en la operación.					Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Falta de inspecciones rutinarias.						Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Impactos severos por condiciones de terreno inadecuadas.	Interrupción en la cosecha por reparación.					Equipo de Mantenimiento.		Programado.
		Fuga en sistema hidráulico de rodaje.	Manguera de mala calidad.	Contaminación del cultivo y lote.	5	7	8	280	Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Sellos desgastados o envejecidos.	Interrupción en la cosecha por reparación.					Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.		Programado.
			Vibraciones excesivas.						Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Presión hidráulica demasiado elevada en el sistema. Montaje incorrecto de componentes.	Incremento de los costos de reparación y pérdidas de tiempo.					Equipo de Mantenimiento.		Programado.
		Desgaste excesivo de neumáticos.	Presión de aire inadecuada.	Reducción de la eficiencia de tracción.	8	3	3	72	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.		Programado.
			Alineación (convergencia/divergencia) incorrecta.	Mayor consumo de combustible.					Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Condiciones ambientales adversas, alta presencia de piedra en los lotes.	Inestabilidad y riesgo de volcadura durante la operación.					Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.		Programado.
Carga excesiva.	Incremento de costos de reparación y pérdidas de tiempo por asistencia frecuente.		Equipo de Mantenimiento.						Programado.		
Velocidad de trabajo inapropiada.											

Fuente. Elaboración propia.

## Sub sistema 5 “Sistema Eléctrico”

Cuadro 10. AMEF Sistema Eléctrico

D	Sistema/Subsistema	Modo de Falla	Causa Potencial de Falla	Efecto de la Falla	Gravedad (1-10)	Ocurrencia (1-10)	Detección (1-10)	NPR	Responsable	Fecha de Implementación	Estado
5	Sistema Eléctrico	Falla en Alternador.	Desgaste del rodamiento del rotor.	Disminución en la carga de la batería.	10	4	2	80	Equipo de Mantenimiento.		Programado
			Faja floja o desgastada.	Parada total del motor.					Equipo de Mantenimiento.		Programado
			Falta de mantenimiento.						Equipo de Mantenimiento.		Programado
			Contaminación por polvo o agua.	Funcionamiento errático de componentes eléctricos.					Equipo de Mantenimiento.		Programado
		Cortocircuitos.	Aislamiento deteriorado.	Fallas intermitentes o permanentes en los sistemas eléctricos.	10	2	10	200	Equipo de Mantenimiento.		Programado
			Humedad o ingreso de agua.						Equipo de Mantenimiento.		Programado
			Conexiones sueltas.	Riesgo de incendio.					Equipo de Mantenimiento.		Programado
			Daño físico a cables o componentes.	Daños a otros componentes eléctricos.					Equipo de Mantenimiento.		Programado
		Batería descargada o con falla.	Sistema de carga defectuoso.	Incapacidad para arrancar la cosechadora.	5	5	5	125	Equipo de Mantenimiento.		Programado
			Drenaje excesivo de energía.	Pérdida de configuraciones y datos almacenados.					Equipo de Mantenimiento.		Programado
			Batería vieja o dañada.	Funcionamiento errático de sistemas electrónicos.					Equipo de Mantenimiento.		Programado
			Conexiones corroídas o sueltas.						Equipo de Mantenimiento.		Programado
		Falla en sistema de iluminación.	Focos halógenos fundidos.	Visibilidad reducida durante las operaciones nocturnas o en condiciones de baja luz.	8	8	2	128	Equipo de Mantenimiento.		Programado
			Conexiones eléctricas defectuosas.						Riesgo de accidentes por visibilidad insuficiente.	Equipo de Mantenimiento.	
			Interruptores dañados.	Interrupción de operación y abastecimiento por falta de iluminación durante operación nocturna.					Equipo de Mantenimiento.		Programado
		Sobrecalentamiento de componentes eléctricos.	Sobrecarga en el sistema eléctrico.	Falla de componentes eléctricos.	8	2	8	128	Equipo de Mantenimiento.		Programado
			Falta de disipación de calor adecuada.	Riesgo de incendio.							
			Condiciones ambientales extremas.	Daño a sistemas adyacentes.					Equipo de Mantenimiento.		Programado
Componentes eléctricos de baja calidad o dañados.											

Fuente. Elaboración propia.

## Sub sistema 6 “Sistema Hidráulico”

Cuadro 11. AMEF Sistema Hidráulico

D	Sistema/Subsistema	Modo de Falla	Causa Potencial de Falla	Efecto de la Falla	Gravedad (1-10)	Ocurrencia (1-10)	Detección (1-10)	NPR	Responsable	Fecha de Implementación	Estado	
6	Sistema hidráulico	Fugas en mangueras y conexiones	Desgaste por uso.	Pérdida de fluido hidráulico.					Equipo de Mantenimiento.		Programado.	
			Conexiones sueltas.						Equipo de Mantenimiento.		Programado.	
			Mangueras dañadas.	Reducción de la presión y eficacia del sistema.					Equipo de Mantenimiento.		Programado.	
			Sobre presión.									
				Deterioro por condiciones ambientales.	Contaminación ambiental.					Equipo de Mantenimiento.		Programado.
		Fallo de la bomba hidráulica	Desgaste de componentes internos.	Pérdida de funcionalidad en sistemas dependientes del hidráulico.						Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Contaminación del fluido.							Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Falta de mantenimiento.	Paradas no programadas.						Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Operación fuera de especificaciones de diseño.									
		Sobrecalentamiento del fluido	Exceso de carga de trabajo.	Degradación del fluido hidráulico.						Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operacion.		Programado.
			Inadecuada disipación de calor.	Daño a sellos y otros componentes.						Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Niveles bajos de fluido.	Reducción de la eficiencia operativa.						Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Uso de un fluido incorrecto.									
		Contaminación del fluido	Ingreso de suciedad y partículas.	Abrasión y desgaste prematuro de componentes.						Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Degradación interna de componentes	Obstrucción de válvulas y filtros.						Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Fallos en los sellos.	Fallas en el sistema hidráulico.						Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Mantenimiento inadecuado.									
		Fallos en válvulas y actuadores	Desgaste mecánico.	Operación errática o bloqueo de funciones hidráulicas.						Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Contaminación del fluido.							Equipo de Mantenimiento.		Programado.
			Sobrecarga de presión.	Posible daño catastrófico en caso de fallo completo.						Equipo de Mantenimiento.		Programado.
Daños durante el montaje o mantenimiento.												
Daño en los cilindros hidráulicos	Sobrecarga operacional.	Pérdida de fuerza y precisión en movimientos hidráulicos.						Equipo de Mantenimiento.		Programado.		
	Contaminación del fluido.							Equipo de Mantenimiento.		Programado.		
	Fallo de sellos.	Fugas y pérdida de fluido.						Equipo de Mantenimiento.		Programado.		
	Corrosión interna y externa.	Falla total del sistema.										
	Golpes por obstáculos dentro del lote o maniobras mal ejecutadas de parte del operador.	Quebraduras en vástago y abolladuras en camisa del cilindro.						Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operacion.		Programado.		

Fuente. Elaboración propia.

## **Fase III: Construcción del Plan de Mantenimiento**

### **Introducción a la fase III**

La Fase III "Construcción del Plan de Mantenimiento", es un componente esencial para asegurar la operatividad continua y eficiente de los equipos de cosecha mecanizada. Esta fase abarca varios elementos clave: Evaluación de Riesgos, Asignación de Actividades de Mantenimiento, Manuales Organizacionales, Plan de Capacitación, Formatos y Diagramas RCM, y Comunicación.

La correcta implementación de este plan de mantenimiento no solo asegura la prolongación de la vida útil de los equipos, sino que también tiene un impacto significativo en la productividad y eficiencia general de la empresa. Un mantenimiento adecuado reduce el tiempo de inactividad, disminuye los costos operativos y mejora la seguridad del personal. Además, un plan de mantenimiento bien estructurado y documentado facilita la formación del personal y la transferencia de conocimientos, lo que contribuye a la mejora continua de las operaciones de mantenimiento.

### **Importancia para la empresa**

La implementación de un plan de mantenimiento estructurado y bien definido tendrá varios beneficios importantes para la empresa:

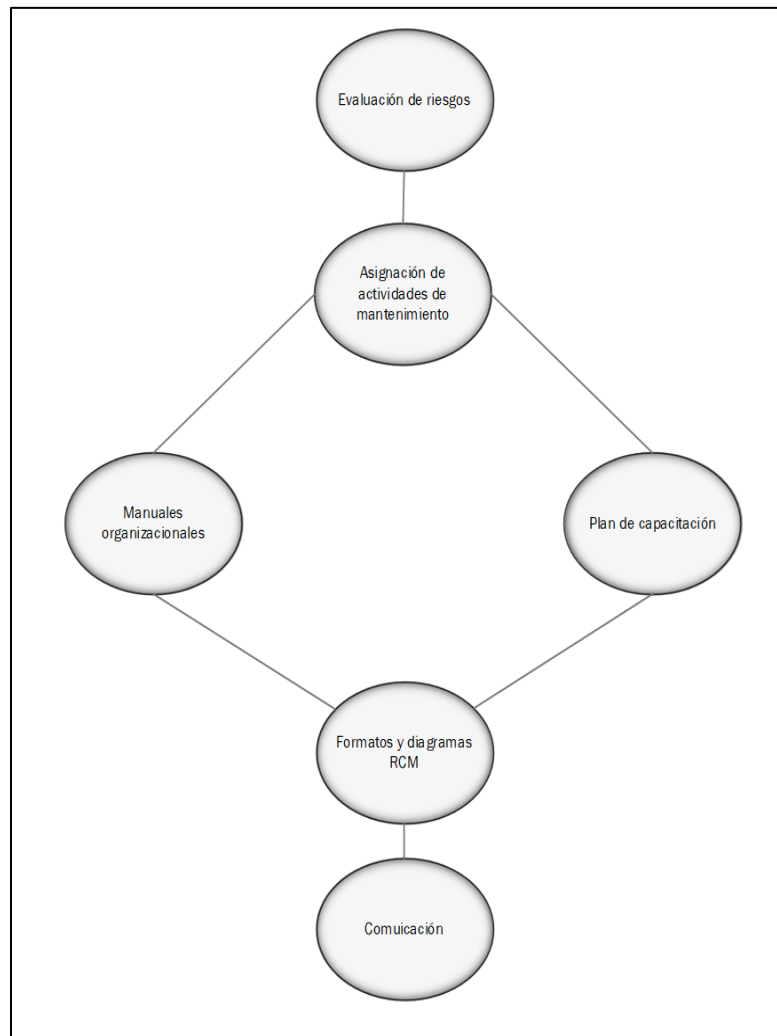
- ✓ **Reducción de Costos Operativos:** Un mantenimiento preventivo y bien planificado minimiza las fallas inesperadas y costosas, lo que reduce significativamente los costos operativos a largo plazo.
- ✓ **Aumento de la Productividad:** Al asegurar que los equipos funcionen de manera óptima, se minimiza el tiempo de inactividad y se maximiza la producción, lo que mejora la productividad general de la empresa.

- ✓ **Mejora de la Seguridad:** Un plan de mantenimiento adecuado incluye la identificación y mitigación de riesgos, lo que contribuye a un entorno de trabajo más seguro para los empleados.
- ✓ **Cumplimiento Normativo:** La documentación y los procedimientos claros ayudan a cumplir con las normativas y estándares de la industria, evitando sanciones y mejorando la reputación de la empresa.
- ✓ **Sostenibilidad y Responsabilidad Social:** Un mantenimiento eficaz reduce el consumo de recursos y la generación de residuos, contribuyendo a las metas de sostenibilidad y responsabilidad social de la empresa.
- ✓ **Capacitación y Desarrollo del Personal:** Un plan de capacitación estructurado asegura que el personal esté bien preparado para realizar las tareas de mantenimiento, lo que mejora la moral y la retención de empleados.
- ✓ **Mejora Continua:** La implementación de formatos y diagramas RCM facilita la monitorización y análisis continuo de las actividades de mantenimiento, permitiendo ajustes y mejoras constantes en el sistema.

### **Diagrama de relación entre elementos del plan de mantenimiento**

El siguiente diagrama ilustra la interrelación entre las distintas fases del plan de mantenimiento, destacando cómo cada componente se conecta y contribuye a la estrategia general de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Este diagrama visualiza la integración de la asignación de actividades, los manuales organizacionales, la evaluación de riesgos y la comunicación, demostrando cómo cada fase se complementa para formar un sistema cohesivo y eficiente.

*Ilustración 24. Gráfico de relación entre elementos del plan de mantenimiento*



*Fuente. Elaboración propia.*

El diagrama muestra la secuencia lógica y las relaciones entre los diferentes componentes de la Fase III:

1. Asignación de Actividades de Mantenimiento: Basada en la evaluación de riesgos.
2. Manuales Organizacionales: Documentan las actividades asignadas.
3. Plan de Capacitación: Prepara al personal para ejecutar las actividades asignadas.

4. Evaluación de Riesgos: Es el primer paso y fundamenta todas las demás actividades.
5. Comunicación: Asegura la coordinación y coherencia en la implementación del plan.
6. Formatos y Diagramas RCM: Estructuran y documentan las actividades de mantenimiento.

Cada componente se relaciona con el siguiente, mostrando cómo se construye el plan de mantenimiento de manera integral y secuencial.

### **Construcción del Plan de Mantenimiento Propuesto**

**1. Evaluación de Riesgos:** la evaluación de riesgos es el primer paso y es crucial para el éxito del plan de mantenimiento. Identificar y evaluar los riesgos permite determinar qué actividades de mantenimiento son necesarias y cómo deben priorizarse. Este análisis se convierte en la base para todas las decisiones subsecuentes en el plan de mantenimiento.

**2. Asignación de Actividades de Mantenimiento:** una vez evaluados los riesgos, se asignan actividades de mantenimiento específicas. Estas actividades están diseñadas para mitigar los riesgos identificados y asegurar la operación continua y eficiente de los equipos críticos.

**3. Manuales Organizacionales:** los manuales organizacionales documentan de manera ordenada y sistemática la estructura orgánica y las funciones asignadas a cada elemento de la organización. Estos manuales son esenciales para asegurar que todos los procedimientos se realicen de acuerdo con las mejores prácticas y estándares definidos.

**4. Plan de Capacitación:** el plan de capacitación detalla los aprendizajes esperados y está enfocado en áreas clave como la mecánica automotriz. Este plan asegura que el personal esté adecuadamente preparado para realizar las tareas de mantenimiento asignadas.

**5. Formatos y Diagramas RCM:** estos formatos y diagramas facilitan la organización y documentación de las actividades de mantenimiento. Proveen una estructura clara para el seguimiento y la ejecución de las tareas, asegurando que todas las actividades sean realizadas conforme al plan.

**6. Comunicación:** finalmente, la comunicación es esencial para la implementación exitosa del plan de mantenimiento. Asegurar que toda la información relevante sea compartida eficazmente permite una mejor coordinación y coherencia en la ejecución del plan.

#### *Asignación de Actividades de Mantenimiento*

En esta sección, se presentan las Hojas de Decisión RCM para los seis subsistemas seleccionados como críticos en el análisis de mantenimiento. Estos subsistemas incluyen el Conjunto Picador/Trozador, el Sistema de Base Cortadora, el Extractor Primario, el Sistema de Rodaje/Banda o Llanta, el Sistema Eléctrico y el Sistema Hidráulico. Cada hoja de decisión detalla las actividades específicas de mantenimiento asignadas a cada subsistema, basadas en un análisis exhaustivo de los modos de falla y sus efectos. Esta asignación de actividades es fundamental para garantizar la operatividad y confiabilidad de los equipos, facilitando una planificación precisa y una ejecución eficiente de las tareas de mantenimiento. A través de este enfoque sistemático, se busca optimizar los recursos, minimizar los tiempos de inactividad y asegurar que cada subsistema funcione de acuerdo con los estándares operativos establecidos.

## Subsistema 1 “Conjunto Picador/Trozador”

Cuadro 12. RCM Conjunto Picador/Trozador

SISTEMA			SISTEMA MECANICO						EQUIPO			PARTE	Conjunto Picador / Trozador	TAG		
ITEM MANTENIBLE	REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	TAREAS "A FALTA DE"			TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	ENCARGADO DE SU EJECUCIÓN
	F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
SUB UNIDAD			ACCIONAMIENTO													
Conjunto Picador / Trozador	1	A	1	N	N	N	S	N	N	S				Realizar revisiones periódicas al sistema de corte durante la jornada, Validar procedimiento de instalación y calibración de cuchillas con el manual del fabricante, Realizar ensayos constantes para determinar calidad de elementos de corte, Diseñar y ejecutar un plan de capacitación para operadores y dotarlos de herramientas para realizar cambio y calibración de cuchillas.	Cada 2 días	Equipo de mantenimiento
	1	A	2	N	N	N	S	S	N	N				Reemplazar el aceite según programación sugerida por el fabricante, Validar que el lubricante cumpla con las especificaciones técnicas sugeridas por el fabricante, Realizar acciones preventivas programadas como medición y registro de temperatura de trabajo así como muestreos de aceite.	Cada día	Equipo de mantenimiento
	1	A	3	S	N	N	S	N	N	S				Validar procedimiento de instalación y calibración de cuchillas con el manual del fabricante, Realizar revisiones periódicas programadas para detectar fugas en el componente, Monitorear el nivel de aceite para detectar fugas internas y excesos.	Cada mes	Equipo de mantenimiento
	1	A	4	S	N	S	S	S	N	S				Validar que el lubricante cumpla con las especificaciones técnicas sugeridas por el fabricante, Realizar revisiones periódicas programadas para detectar fugas en el componente, Monitorear el nivel de aceite para detectar fugas internas y excesos.	Cada semana	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.
	1	A	5	N	N	N	S	S	N	S				Realizar revisiones periódicas para verificar el apriete del volante de inercia, asegurando así la vida útil del embrague, Diseñar y ejecutar un plan de capacitación para operadores y dotarlos de herramientas para realizar el ajuste del apriete del volante de inercia, Utilizar repuestos de calidad y seguir las instrucciones del fabricante al momento de realizar cualquier ajuste o reparación en el embrague.	Cada semana	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.

Fuente. Elaboración propia.

## Subsistema 2 “Sistema de Base Cortadora”

Cuadro 13. RCM Sistema de Base Cortadora

SISTEMA				SISTEMA MECANICO									EQUIPO			PARTE	Sistema de Base Cortadora	TAG	
ITEM MANTENIBLE	REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1 S1	H2 S2	H3 S3	TAREAS "A FALTA DE"			TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	ENCARGADO DE SU EJECUCIÓN			
	F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4						
SUB UNIDAD				ACCIONAMIENTO															
Sistema de base cortadora	2	A	1	S	N	N	S	S	N	N				Realizar revisiones periódicas al sistema de corte durante la jornada, programar un reemplazo periódico de los discos para minimizar el daño en los mismos y reducir así los costos de reparación.	Cada mes	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.			
	2	A	2	S	N	N	S	S	N	N				sobre los efectos de la piedra en campo, Reforzar soldadura y diseño de los fusibles mecánicos, aplicar análisis de fuerza para determinar punto de quiebre mejorado, Ejecutar un plan de soldadura en campo para reforzar el fusible cuando este presente desgaste.	Cada 24h	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.			
	2	A	3	N	N	S	S	S	N	N				Validar que el lubricante cumpla con las especificaciones técnicas sugeridas por el fabricante, Realizar revisiones periódicas programadas para detectar fugas en el componente, Validar procedimiento de instalación de los sellos con el manual del fabricante Utilizar repuestos de calidad y seguir las instrucciones del fabricante al momento de realizar una reparación, Monitorear el nivel de aceite para detectar fugas y excesos de aceite	Semanal	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.			
	2	A	4	S	N	N	S	S	N	N				Reforzar soldadura en puntos de quiebre detectados para incrementar resistencia a impactos, utilizar tornillería que cumpla con los estándares del fabricante.	Semanal	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.			
	2	A	5	S	N	N	S	S	N	N				Monitorear periódicamente es estado del aceite por presencia de sedimentos causados por desgaste de elementos, realizar periódicamente el cambio de aceite a los engranajes en la caja base, utilizar aceite que cumpla con los estándares del fabricante.	Cada mes	Equipo de Mantenimiento			

Fuente. Elaboración propia.

### Subsistema 3 “Extractor primario”

Cuadro 14.RCM Extractor primario

SISTEMA			SISTEMA MECANICO				EQUIPO			PARTE	Extractor primario	TAG				
ITEM MANTENIBLE	REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1 S1	H2 S2	H3 S3	TAREAS "A FALTA DE"			FRECUENCIA INICIAL	ENCARGADO DE SU EJECUCIÓN	
	F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
SUB UNIDAD			ACCIONAMIENTO													
EXTRACTOR PRIMARIO	3	A	1	S	N	N	S	S	N	N				Realizar revisiones periódicas programadas para detectar reventaduras en el componente, Reforzar soldadura en puntos de quiebre detectados para incrementar resistencia a impactos, Capacitar a los operadores para revisar correctamente el componente y detectar indicios de fallas potenciales.	cada 7 días	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.
	3	A	2	S	N	S	S	S	N	N				Establecer un plan de acción y determinar el punto de cambio de las mangueras con humedad de aceite en algún punto, Revisar periódicamente las presiones hidráulicas en el circuito del extractor primario, Programar revisión visual de las condiciones físicas de las mangueras, Programar revisión visual de las condiciones físicas de las mangueras.	cada 7 días	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.
	3	A	3	S	N	S	S	S	N	N				Validar que el lubricante cumpla con las especificaciones técnicas sugeridas por el fabricante, Realizar revisiones periódicas programadas para detectar fugas en el componente, Validar procedimiento de instalación de los sellos con el manual del fabricante, Utilizar repuestos de calidad y seguir las instrucciones del fabricante al momento de realizar una reparación.	cada 7 días	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.
	3	A	4	S	N	N	S	S	N	N				Programar revisión visual de las condiciones físicas del aro. Programar refuerzo de soldadura si lo amerita, Monitorear el porcentaje de materia extraña y sedimentos que está procesando la máquina y realizar ajustes para minimizar la abrasión, Colocar el aro de un material de alta resistencia a la abrasión, de preferencia con alto contenido de carbono, Capacitar a los operadores para revisar correctamente el componente y detectar indicios de fallas potenciales.	cada 7 días	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.
	3	A	5	S	N	N	S	S	N	N				Programar revisión visual de las condiciones físicas del aro. Programar reemplazo de láminas protectoras si es necesario, Instalar una lámina protectora que cubra toda la superficie interna del gorro para evitar el desgaste del material del gorro, Mantener limpio el gorro para maximizar la limpieza de la materia prima y facilitar la detección de fallas potenciales.	cada 7 días	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.

Fuente. Elaboración propia.

## Subsistema 4 “Sistema de Rodaje / Banda o Llanta”

Cuadro 15. RCM Sistema de Rodaje/Banda o Llanta

SISTEMA				SISTEMA MECANICO									EQUIPO			PARTE	Sistema de Rodaje / Banda o Llanta	TAG	
ITEM MANTENIBLE	REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1 S1	H2 S2	H3 S3	TAREAS "A FALTA DE"			FRECUECIA INICIAL	ENCARGADO DE SU EJECUCIÓN				
	F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4						
SUB UNIDAD				ACCIONAMIENTO															
Sistema de Rodaje / Banda o Llanta	4	D	1	S	N	N	S	N	N	S					Establecer un programa de lubricación adecuado y usar lubricantes de calidad. Inspeccionar y reemplazar rodamientos estableciendo un cronograma de mantenimientos de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y la experiencia real del equipo. Mantener limpios los componentes para evitar la contaminación. Diseñar y aplicar protecciones adecuadas para minimizar el impacto de partículas y agua.	cada 6 meses	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación		
	4	D	2	S	S	N	S	S	N	N					Utilizar materiales de alta resistencia para los ejes. Evitar sobrecargas mediante la capacitación adecuada de los operadores. Realizar inspecciones regulares para detectar señales de fatiga o daño, mediante spray para reventaduras y flujo de partículas magnéticas. Revisar y ajustar la alineación y montaje después de cualquier mantenimiento significativo.	1 cada año	Equipo de Mantenimiento		
	4	D	3	S	N	S	S	S	N	N					Asegurar que todas las conexiones estén bien apretadas durante el montaje. Inspeccionar mangueras y conexiones regularmente en busca de signos de desgaste o daño. Reemplazar sellos y mangueras según los intervalos recomendados por el fabricante. Usar componentes de alta calidad que resistan la corrosión y las altas presiones. Monitorear la presión del sistema hidráulico para asegurarse de que esté dentro de los límites seguros.	1 vez a la semana	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.		
	4	D	4	S	N	N	S	N	N	S					Realizar revisiones periódicas programadas para medir presión y desgaste de gravado. Verificar y seleccionar los neumáticos adecuados para el tipo de trabajo. Capacitar a los operadores sobre prácticas de conducción que minimicen el desgaste. Implementar un programa de rotación de neumáticos para asegurar un desgaste uniforme.	cada 2 años	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.		

Fuente. Elaboración propia.

## Subsistema 5 “Sistema Eléctrico”

Cuadro 16. RCM Sistema Eléctrico

SISTEMA			Sistema Eléctrico									EQUIPO	PARTE	Sistema Eléctrico	TAG	
ITEM MANTENIBLE	REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1 S1	H2 S2	H3 S3	TAREAS "A FALTA DE"			TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	ENCARGADO DE SU EJECUCIÓN
	F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
SUB UNIDAD			ACCIONAMIENTO													
Sistema Eléctrico	5	A	1	N	N	N	S	S	N	N				<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspeccionar y reemplazar las fajas regularmente.</li> <li>- Realizar mantenimiento periódico del alternador.</li> <li>- Limpiar el alternador para evitar la acumulación de contaminantes.</li> <li>- Verificar la carga y funcionamiento del alternador con un voltímetro.</li> </ul>	6 meses	Equipo de Mantenimiento.
	5	A	2	S	N	N	S	S	N	N				necesario. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Asegurar todas las conexiones eléctricas.</li> <li>- Proteger componentes y cableado de la humedad.</li> <li>- Inspeccionar cableado en busca de daños físicos y reparar o reemplazar según sea necesario.</li> </ul>	Cada mes	Equipo de Mantenimiento.
	5	A	3	S	N	N	S	S	N	N				<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar el sistema de carga regularmente.</li> <li>- Inspeccionar y limpiar terminales de la batería.</li> <li>- Reemplazar baterías según las recomendaciones del fabricante.</li> <li>- Verificar y reducir los consumos de energía innecesarios cuando la cosechadora esté apagada.</li> </ul>	Cada 3 meses	Equipo de Mantenimiento.
	5	A	4	S	N	N	S	N	N	S				<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reemplazar regularmente las bombillas.</li> <li>- Inspeccionar y reparar conexiones e interruptores.</li> <li>- Revisar y reemplazar fusibles según sea necesario.</li> <li>- Mantener un stock adecuado de repuestos de iluminación.</li> </ul>	1 vez al año	Equipo de Mantenimiento.
	5	A	5	S	N	N	S	S	N	N				<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseñar el sistema eléctrico para manejar la carga de trabajo esperada.</li> <li>- Implementar soluciones de enfriamiento adecuadas</li> </ul>	Cada mes	Equipo de Mantenimiento.

Fuente. Elaboración propia.

## Subsistema 6 “sistema hidráulico”

Cuadro 17. RCM Sistema Hidráulico

SISTEMA				Sistema Hidraulico									EQUIPO	PARTE	Sistema Hidraulico	TAG	
ITEM MANTENIBLE	REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1 S1 O1 S1	H2 S2 O2 S2	H3 S3 O3 S3	TAREAS "A FALTA DE"				TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	ENCARGADO DE SU EJECUCIÓN
	F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4				
SUB UNIDAD				ACCIONAMIENTO													
SISTEMA HIDRAULICO	6	A	1	S	N	S	S	S	N	N				Inspeccionar mangueras y conexiones regularmente, Ajustar y reemplazar según sea necesario Y Monitorear la presión del sistema para evitar sobre presiones.	cada 24h	Equipo de Mantenimiento.	
	6	A	2	S	N	S	S	S	N	N				Realizar mantenimiento preventivo, Utilizar fluidos de calidad y filtrados, Reemplazar la bomba según las recomendaciones del fabricante.	cada 30 días	Equipo de Mantenimiento.	
	6	A	3	S	N	S	S	S	N	N				Verificar y mantener niveles adecuados de fluido, Revisar el sistema de enfriamiento y Utilizar el fluido recomendado por el fabricante.	cada 24h	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.	
	6	A	4	S	N	S	S	S	N	S				Filtrar regularmente el fluido, Mantener el sistema cerrado y limpio Y Revisar y cambiar los filtros según sea necesario.	cada 90 días	Equipo de Mantenimiento.	
	6	A	5	S	N	S	S	S	N	N				Inspeccionar y testear válvulas y actuadores regularmente, Asegurar montajes adecuados, Capacitar al personal en el mantenimiento adecuado.	cada 7 días	Equipo de Mantenimiento.	
	6	A	6	S	N	S	S	S	N	N				Capacitar al personal en el mantenimiento adecuado, Evitar condiciones de trabajo extremas, Realizar inspecciones y verificar condición de cilindros hidráulicos, Diseñar e implmentar un plan de capacitación con enfoque en buenas practicas de operación para minimizar accidentes en campo.	cada 7 días	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.	

Fuente. Elaboración propia.

### ***Manuales Organizacionales***

En esta sección, se presenta una propuesta de manuales organizacionales específica para la operación de cosecha mecanizada y la gestión de mantenimiento en los ingenios azucareros. Estos manuales están diseñados para abordar y resolver los problemas administrativos identificados, proporcionando directrices claras y estructuradas sobre los procedimientos operativos, roles y responsabilidades. Al establecer un marco organizativo bien definido, estos manuales facilitan la coordinación entre los equipos de cosecha y mantenimiento, mejoran la eficiencia en la asignación de tareas y aseguran que las estrategias de mantenimiento se implementen de manera efectiva. Esta propuesta es esencial para optimizar los procesos operativos, mejorar la comunicación entre las áreas de mantenimiento y operación garantizando así la sostenibilidad operativa a largo plazo, contribuyendo a una operación de cosecha mecanizada más eficiente y confiable.

**INGENIO AZUCARERO SALVADOREÑO**  
**MANUAL DE DESCRIPCIÓN DE LOS PUESTOS DE TRABAJO “COSECHA**  
**MECANIZADA”**

ELABORADO POR:

JOSÉ MANUEL TORRES HERRERA

ROXANA MARISOL LIPE ZARCO

DANIEL EDUARDO GONZÁLEZ CERNA

CLAVE DE LA FORMA:

UES.URH.01.2024

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.

UNIDAD DE RECURSOS HUMANOS.

FORMULARIO 1 Y AÑO 2024

## ÍNDICE

<u>INTRODUCCION</u> .....	136
<u>MISION, VISION Y VALORES DE LA COMPAÑÍA</u> .....	137
<u>MISION:</u> .....	137
<u>VISION:</u> .....	137
<u>VALORES:</u> .....	138
<u>ATRIBUCIONES</u> .....	138
<u>NORMAS Y POLITICAS GENERALES</u> .....	139
<u>DESCRIPCIONES DE LOS PUESTOS</u> .....	139

## **INTRODUCCIÓN**

El presente manual de funciones es un documento que contiene la descripción de actividades que debe seguirse en la realización de las funciones en los diferentes puestos de del ingenio estudiado. El cual tiene como alcance el área de cosecha mecanizada, englobando a todos los puestos que se tienen en esta área durante la zafra.

El manual incluye todo lo que se refiere a las responsabilidades previo y durante el desarrollo de la operación que representa el puesto descrito y la participación en todo el proceso, además incluye la lista de aptitudes y actitudes del puesto, las habilidades necesarias para ser parte de la empresa.

Este documento se ha diseñado con el objetivo de facilitar el proceso de gestión del capital humano durante la zafra.

### **MISIÓN, VISIÓN Y VALORES DE LA COMPAÑÍA**

#### **MISIÓN:**

Ser una empresa líder de clase mundial que proporciona productos y servicios agrícolas e industriales, que agregan valor a los clientes y al país. Utilizamos estándares internacionales de calidad, productividad y tecnología de vanguardia con responsabilidad social. Desarrollamos a nuestro recurso humano y de manera sostenida y rentable, superamos las expectativas de nuestros accionistas.

#### **VISIÓN:**

Los cambios en el entorno nos exigen contar con un modelo de administración que nos permita desarrollar ventajas competitivas, tanto a nivel centroamericano como internacional. Este modelo de administración del ingenio estudiado se basa en los principios de calidad integral que rigen a las empresas líderes de clase mundial.

## VALORES:

1. Honestidad
2. Responsabilidad.
3. Lealtad.
4. Respeto.
5. Disciplina
6. Innovación

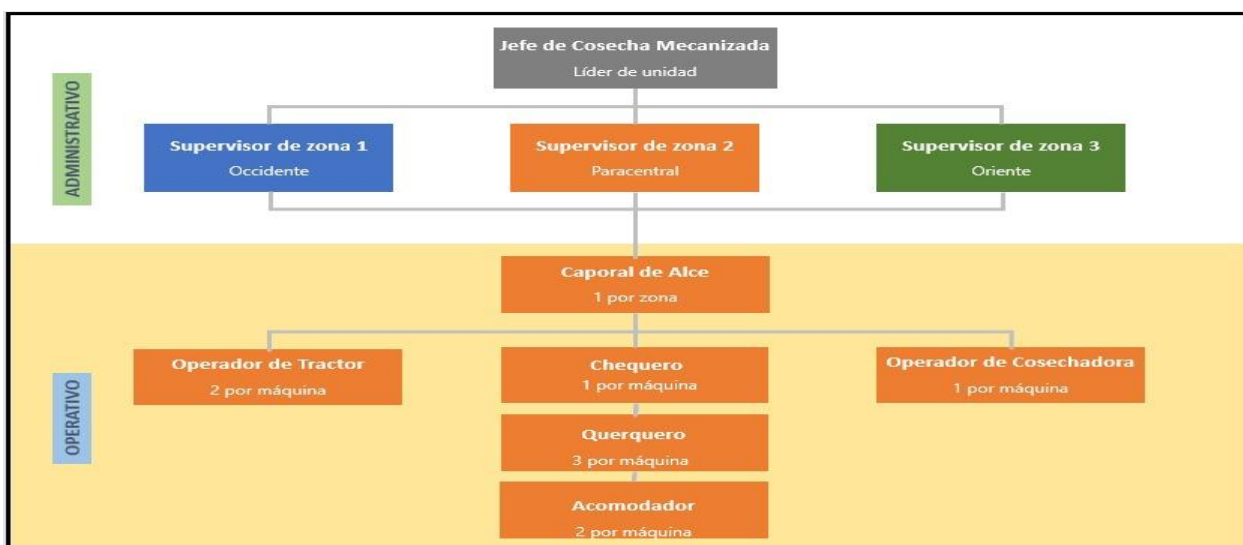
## ATRIBUCIONES

Como empresa, respetamos todas las normas reglamentos y leyes que rigen el país por medio del ministerio de trabajo, y se cuenta con los permisos para operar con libertad cumpliendo nuestros deberes tales como seguros médicos (ISSS) y AFP.

## ESTRUCTURA DE LA ORGANIZACIÓN

A continuación, se presenta el organigrama, del área de estudio.

*Ilustración 25. Estructura organizativa del área de Cosecha Mecanizada*



*Fuente: Elaboración propia.*

## NORMAS Y POLÍTICAS GENERALES

1. Cumplimiento al horario establecido según el turno que este asignado.
2. Registro de entrada y salida.
3. Si se tienen citas médicas avisar con tres días de anticipación.
4. Portar el equipo de protección personal.

## DESCRIPCIONES DE LOS PUESTOS

<b>Identificación del cargo</b>	
<b>Nombre del cargo</b>	• Operador de Cosechadora:
<b>Dependencia</b>	Área Operativa
<b>Número de cargos</b>	40
<b>Reporta a (Nombre del Cargo)</b>	Responsable de zona
<b>Requisitos Mínimos</b>	
<b>Requisitos de formación</b>	Título de Bachiller, Licencia pesada
<b>Requisitos de experiencia</b>	1 año como mínimo en puestos similares
<b>Funciones Previas a Inicio de Turno de Operación</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Colocarse el equipo de seguridad.</li><li>• Realizar un recorrido de reconocimiento del campo antes de ejecutar las labores de cosecha. (ver mapa)</li><li>• Si en el reconocimiento del lote se ve la factibilidad de realizar pasado otro lote, sugerirlo de inmediato, al supervisor</li><li>• Realizar inspecciones básicas a la cosechadora para asegurarse de que estén en buenas condiciones y reportar cualquier anomalía detectada.</li><li>• Identificar posibles riesgos para la operación, reunir y comunicar al equipo las maniobras que se han de tomar para minimizar los riesgos detectados.</li><li>• Asegurarse que el extintor contra incendios se encuentre en buen estado y correctamente ubicado.</li><li>• Recibir información del turno saliente.</li></ul>	

### **Funciones Durante la operación**

- Operar la cosechadora de manera segura y eficiente durante el turno asignado.
- Asegurarse de realizar una labor de calidad garantizando salvaguardar la integridad de todos los colaboradores, maquinaria y campo; respetando los parámetros operativos establecidos por el supervisor.
- Monitorear y ajustar constantemente el buen funcionamiento de la maquinaria.
- Monitorear y ajustar en los primeros 30 m. del surco el nivel de corte, en el rompimiento de una brecha (actividad que algunos operadores no lo hacen)
- Ajustar y configurar adecuadamente la maquinaria para optimizar la recolección de caña.
- Mantener un ritmo constante de trabajo y cumplir con las metas de producción establecidas.
- Reportar cualquier problema o falla en la cosechadora al supervisor o personal de mantenimiento.
- Monitorear el número de equipos cargados y revisar las cuchillas de base cortadora para determinar si necesita rotación o cambio, realizarlo si es necesario.
- No andar subido acompañante en la máquina sin su debida autorización.
- Mantener apagado el motor si fuese necesario (cargado lento).

### **Funciones Durante el Mantenimiento y Abastecimiento de Combustible**

- Colaborar activamente en la ejecución del mantenimiento preventivo de la maquinaria. (Lavado, limpieza, mantenimiento)
- Revisar los niveles de todos los fluidos en todos los sistemas de la máquina.
- Revisar la limpieza general de la maquinaria (esto porque lo ejecutan otras personas), gorros internos, bajera.
- Realizar una revisión 360° en la maquinaria y notificar al mecánico encargado del mantenimiento sobre cualquier anomalía.

- Revisar la condición de los elementos des gastables de la máquina como las cuchillas de base cortadora, picadoras, aspas primarias y secundarias.
- Realizar el reporte de abastecimiento de combustible.

### **Funciones Durante el Traslado de Maquinaria**

- Montar dispositivo de seguridad al subir y bajar un equipo (conos, grafitambos, banderillero y parar tráfico)
- Subir y bajar la máquina con sumo cuidado salvaguardando la integridad de todos los presentes alrededor y de la maquinaria, siguiendo las indicaciones del operador del lowboy únicamente.
- Supervisar que se realicen los anclajes necesarios de parte del operador del lowboy para asegurar la maquinaria.
- Viajar siempre con el operador del lowboy para monitorear cualquier riesgo que pueda dañar el equipo durante su traslado.
- Colaborar con el operador del lowboy cuando se detecte algún riesgo durante el traslado.
- Informar al alce el momento de partida y llegada a determinado lugar de lowboy.

### **Funciones en la Finalización de Turno de Operación**

- Entregar el equipo limpio y en buenas condiciones a su relevo.
- Realizar una revisión 360° a la máquina y reportar cualquier anomalía a taller y a su relevo.
- Compartir cualquier información relevante a su relevo, con respecto a la operación y los riesgos presentes en el lote.

### **Otras cualidades y habilidades**

1. Proactivo.
2. Responsable
3. Excelentes relaciones interpersonales.
4. Trabajo en equipo.

5. Saber trabajar bajo presión.
6. Conocimiento de normas de seguridad.
7. Honestidad.
8. Liderazgo.

## Identificación del cargo

<b>Nombre del cargo</b>	• Operador de Tractor
<b>Dependencia</b>	Área Operativa
<b>Número de cargos</b>	80
<b>Reporta a (Nombre del Cargo)</b>	Responsable de zona
<b>Requisitos Mínimos</b>	
<b>Requisitos de formación</b>	Título de Bachiller, Licencia pesada
<b>Requisitos de experiencia</b>	1 año como mínimo en puestos similares
<b>Funciones Previas a Inicio de Turno de Operación</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocarse el equipo de seguridad.</li> <li>• Acompañar al operador de cosecha a realizar un recorrido de reconocimiento del campo antes de ejecutar las labores de cosecha. (ver mapa)</li> <li>• Si en el reconocimiento del lote se ve la factibilidad de realizar pasado otro lote, sugerirlo de inmediato, al supervisor</li> <li>• Realizar inspecciones 360° a los equipos para asegurarse de que estén en buenas condiciones.</li> <li>• Asegurarse que el extintor se encuentre en buen estado y correctamente ubicado.</li> </ul>	

- Identificar en conjunto con el chequero la zona más ideal para realizar el trasiego de caña a las rastras.
- Recibir información del turno saliente.

### **Funciones Durante la operación**

- Conducir los tractores para transportar la caña recolectada desde el campo hacia la zona de traslado, respetando las zonas de tráfico establecidas.
- No andar subido acompañante en el tractor sin su debida autorización.
- Cargar la caña en los remolques o camiones de transporte de manera eficiente y segura.
- Sincronización con los tractores para no desabastecer la cosechadora en el corte de caña.
- Colaborar con el operador de cosechadora y el chequero para mantener un flujo constante de caña.
- Monitorear constantemente el buen funcionamiento del equipo y reportar cualquier problema o anomalía relacionada con el tractor o autovolteo.
- Monitorear constantemente la condición de la cosechadora de caña y avisar de inmediato al operador de la cosechadora en caso de detectar cualquier indicio de fallas o incendios.
- Respetar los límites de velocidad establecidos; así también los espacios definidos para el tráfico del equipo.
- Mantener una comunicación constante con el operador de la cosechadora para minimizar riesgos y garantizar así una operación segura y eficiente.
- Retirar cualquier obstáculo que se encuentre al frente de la cosechadora y que represente un riesgo para la máquina, previo aviso del operador de cosechadora.
- Mantener apagado el motor si fuese necesario (cargado lento).

### **Funciones Durante el Mantenimiento y Abastecimiento de Combustible**

- Colaborar activamente en la ejecución del mantenimiento preventivo de la maquinaria, incluyendo actividades de limpieza en la cosechadora. (lavado, limpieza y mantenimiento).
- Tripulación de turno de día es la encargada de realizar engrase de volteos.
- Revisar los niveles de todos los fluidos en todos los sistemas de la máquina.
- Realizar una revisión 360° en la maquinaria y notificar al mecánico encargado del mantenimiento sobre cualquier anomalía.
- Realizar el reporte de abastecimiento de combustible.

### **Funciones Durante el Traslado de Maquinaria**

- Montar dispositivo de seguridad al subir y bajar un equipo (conos, grafitambos, banderillero y parar tráfico)
- Subir y bajar la máquina con sumo cuidado salvaguardando la integridad de todos los presentes alrededor y de la maquinaria, siguiendo las indicaciones del operador del lowboy únicamente.
- Supervisar que se realicen los anclajes necesarios de parte del operador del lowboy para asegurar la maquinaria.
- Viajar siempre con el operador del lowboy para monitorear cualquier riesgo que pueda dañar el equipo durante su traslado.
- Colaborar con el operador del lowboy cuando se detecte algún riesgo durante el traslado.
- Informar al alce el momento de partida y llegada a determinado lugar (de lowboy).

### **Funciones en la Finalización de Turno de Operación**

- Entregar el equipo limpio y en buenas condiciones a su relevo.
- Realizar una revisión 360° a la maquinaria y reportar cualquier anomalía a taller y a su relevo.
- Compartir cualquier información relevante a su relevo, con respecto a la operación y los riesgos presentes en el lote.

### **Otras cualidades y habilidades**

1. Proactivo.

2. Responsable
3. Excelentes relaciones interpersonales.
4. Trabajo en equipo.
5. Saber trabajar bajo presión.
6. Conocimiento de normas de seguridad.
7. Honestidad.
8. Liderazgo.

### **Identificación del cargo**

<b>Nombre del cargo</b>	• Caporal de Alce
<b>Dependencia</b>	Área Operativa
<b>Número de cargos</b>	8
<b>Reporta a (Nombre del Cargo)</b>	Responsable de zona
<b>Requisitos Mínimos</b>	
<b>Requisitos de formación</b>	Título de Bachiller.
<b>Requisitos de experiencia</b>	1 año como mínimo en puestos similares
<b>Funciones Previas a Inicio de Turno de Operación</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usar equipo de seguridad.</li> <li>• Confirmar con Chequero y operadores la ejecución del recorrido para reconocimiento de terreno.</li> <li>• Asegurarse de que todos los chequeros cambien datos de tripulación.</li> <li>• Corroborar la información del área a cosechar (ver mapa)., que coincida con las OC brindadas por su jefe inmediato</li> <li>• Recibir información del turno saliente.</li> </ul>	

- Tomar asistencia de cada frente.
- Darle seguimiento a algún traslado pendiente.

### **Funciones Durante la operación**

- Reportar al responsable de zona cualquier situación que se presente en algún frente de cosecha, principalmente status de equipo al inicio de turno
- Mantener una comunicación constante con los chequeros de todos los frentes de cosecha para monitorear la operación.
- Solicitar y consolidar información de la operación de manera constante y puntual, incluyendo equipos cargados, área pendiente de corte, tiempo por carga de autovolteo, rastra y mantenimientos. Y compartirla los horarios establecidos por el supervisor de zona.
- Supervisar de manera activa la calidad del corte en el frente donde se encuentre durante el turno de trabajo.
- Observar maniobras y operación y corregir si se puede.
- Coordinar con torre de control la correcta distribución del transporte en los frentes de corte en función de los factores como eficiencia, traslados, disponibilidad y mano de obra.
- Reportar al responsable de zona, torre y cabina de asistencia siempre que suceda una falla en algún equipo de cosecha para solicitar asistencia.
- Dar seguimiento a los reportes o alertas de falla que hayan sido reportados en turnos anteriores que estén pendientes de asistencia.

### **Funciones Durante el Mantenimiento y Abastecimiento de Combustible**

- Solicitar el reporte de tiempo invertido en mantenimiento y abastecimiento de combustible en cada frente de cosecha.
- Acompañar al operador de cosecha en la revisión de 360° para garantizar un buen funcionamiento de la maquinaria.

### **Funciones Durante el Traslado de Maquinaria**

- Monitorear previamente el saldo de caña para coordinar el traslado con suficiente antelación o anticipación
- Confirmar con responsable de zona la hacienda destino para descartar cualquier cambio de última hora.

### **Funciones en la Finalización de Turno de Operación**

- Compartir reporte de finalización de turno, incluyendo: Equipos cargados por máquina, principales pérdidas de tiempo, equipos vacíos en campo a espera de recibir carga y estatus de la maquinaria.
- Compartir cualquier información relevante a su relevo, con respecto a la operación y movimientos pendientes.
- Solicitar y consolidar información de finalización de turno, incluyendo equipos cargados y saldos de caña principalmente.

### **Otras cualidades y habilidades**

1. Proactivo.
2. Responsable
3. Excelentes relaciones interpersonales.
4. Trabajo en equipo.
5. Saber trabajar bajo presión.
6. Conocimiento de normas de seguridad.
7. Honestidad.
8. Liderazgo.

## **Identificación del cargo**

<b>Nombre del cargo</b>	• Chequero
<b>Dependencia</b>	Área Operativa

<b>Número de cargos</b>	40
<b>Reporta a (Nombre del Cargo)</b>	Responsable de zona
<b>Requisitos Mínimos</b>	
<b>Requisitos de formación</b>	Título de Bachiller.
<b>Requisitos de experiencia</b>	1 año como mínimo en puestos similares
<b>Funciones Previas a Inicio de Turno de Operación</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asegurarse que todos utilicen su equipo de seguridad.</li> <li>• Acompañar a los operadores de maquinaria a realizar un recorrido de reconocimiento del campo antes de ejecutar las labores de cosecha.</li> <li>• Realizar el cambio de tripulación en el dispositivo de registro de envíos de caña.</li> <li>• Corroborar la información del área a cosechar (ver mapa).</li> <li>• Definir en conjunto con los tractoristas la mejor zona para el trasiego de caña a las rastras.</li> <li>• Coordinar y asignar a los querqueros la distribución del recorrido en el surco para la recolección de caña.</li> <li>• Contabilizar la cantidad de equipos pendiente de recibir carga en campo y afuera.</li> <li>• Recibir información del turno saliente.</li> </ul>	
<b>Funciones Durante la operación</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitorear constantemente la calidad del corte que se va realizando y coordinar de inmediato con el operador de cosechadora en caso de necesitarse un ajuste de altura de corte.</li> <li>• Registrar la caña enviada y realizar registros en el dispositivo asignado.</li> <li>• Identificar las zonas de trasiego de caña en conjunto con los operadores de tractor para facilitar el traslado y mantener eficiencias.</li> <li>• Notificar cualquier situación anormal al supervisor de turno, caporal de alce y/o responsable de zona.</li> </ul>	

- Reportar en la frecuencia establecida, al caporal de alce sobre los equipos cargador y enviados desde el frente de corte.
- Coordinar con ubicador y torre de control el flujo de camiones dentro de la hacienda y mantener una logística fluida y ordenada.
- Realizar un reporte en bitácora y avisa a caporal o responsable de zona sobre cualquier falla reportada por el operador de cualquier equipo.
- Realizar los respectivos cambios de codificación de lotes y haciendas cuando sea necesario al finalizar un lote o hacienda.
- Medir el tiempo de cargado de autovolteo y rastras.
- Monitorear la ubicación de la zona de trasiego de caña con respecto al avance de la cosecha en el lote y asignar así áreas de trasiego más cerca de la cosecha.
- Revisar que no haya caña derramada en el campo ni puntos de trasbordo.
- Informar siempre al caporal de alce cuando se dé una barrida de un lote
- Utilización de bitácora de paro al 100% en todas las actividades que la máquina pare labores, saber diferenciar un paro de una alerta.
- Elaboración de reportes en cada turno (check list cosecha mecanizada y caña contaminada).

#### **Funciones Durante el Mantenimiento y Abastecimiento de Combustible**

- Realizar el paro en bitácora y/o alertas si fuese necesario.
- Reportar el paro del equipo por abastecimiento de combustible o mantenimiento.
- Reportar el cierre del paro e inicio de labores.
- Comunicar cualquier situación que prolongue el paro de la maquinaria.

#### **Funciones Durante el Traslado de Maquinaria**

- Realizar el paro en bitácora.
- Notificar en el grupo de WhatsApp el traslado detallando código de máquina y destino.
- Coordinar con los querqueros el desarmado del canopy para cargarlo en lowboy.

### **Funciones en la Finalización de Turno de Operación**

- Realizar un paro en bitácora por cambio de turno, evidenciar también el tiempo de cambio de cuchillas primarias, ya que normalmente dejamos solo cambio de turno
- Compartir cualquier información relevante a su relevo, con respecto a la operación y los riesgos presentes en el lote.
- Compartir reporte de finalización de turno, detallando cantidad de equipos cargados y tiempos perdidos principalmente.
- Medir, reportar área y estimativa de toneladas pendiente de corte en el lote que se está cosechando.
- Entregar área trabajada al relevo, verificando la calidad de trabajo realizada.

### **Otras cualidades y habilidades**

1. Proactivo.
2. Responsable
3. Excelentes relaciones interpersonales.
4. Trabajo en equipo.
5. Saber trabajar bajo presión.
6. Capacidad de análisis.
7. Honestidad.
8. Liderazgo.

### **Identificación del cargo**

<b>Nombre del cargo</b>	• Chequero
<b>Dependencia</b>	Área Operativa
<b>Número de cargos</b>	40
<b>Reporta a (Nombre del Cargo)</b>	Responsable de zona

<b>Requisitos Mínimos</b>	
<b>Requisitos de formación</b>	Título de Bachiller.
<b>Requisitos de experiencia</b>	1 año como mínimo en puestos similares
<b>Funciones Previas a Inicio de Turno de Operación</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asegurarse que todos utilicen su equipo de seguridad.</li> <li>• Acompañar a los operadores de maquinaria a realizar un recorrido de reconocimiento del campo antes de ejecutar las labores de cosecha.</li> <li>• Realizar el cambio de tripulación en el dispositivo de registro de envíos de caña.</li> <li>• Corroborar la información del área a cosechar (ver mapa).</li> <li>• Definir en conjunto con los tractoristas la mejor zona para el trasiego de caña a las rastras.</li> <li>• Coordinar y asignar a los querqueros la distribución del recorrido en el surco para la recolección de caña.</li> <li>• Contabilizar la cantidad de equipos pendiente de recibir carga en campo y afuera.</li> <li>• Recibir información del turno saliente.</li> </ul>	
<b>Funciones Durante la operación</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitorear constantemente la calidad del corte que se va realizando y coordinar de inmediato con el operador de cosechadora en caso de necesitarse un ajuste de altura de corte.</li> <li>• Registrar la caña enviada y realizar registros en el dispositivo asignado.</li> <li>• Identificar las zonas de trasiego de caña en conjunto con los operadores de tractor para facilitar el traslado y mantener eficiencias.</li> <li>• Notificar cualquier situación anormal al supervisor de turno, caporal de alce y/o responsable de zona.</li> <li>• Reportar en la frecuencia establecida, al caporal de alce sobre los equipos cargador y enviados desde el frente de corte.</li> <li>• Coordinar con ubicador y torre de control el flujo de camiones dentro de la hacienda y mantener una logística fluida y ordenada.</li> </ul>	

- Realizar un reporte en bitácora y avisa a caporal o responsable de zona sobre cualquier falla reportada por el operador de cualquier equipo.
- Realizar los respectivos cambios de codificación de lotes y haciendas cuando sea necesario al finalizar un lote o hacienda.
- Medir el tiempo de cargado de autovolteo y rastras.
- Monitorear la ubicación de la zona de trasiego de caña con respecto al avance de la cosecha en el lote y asignar así áreas de trasiego más cerca de la cosecha.
- Revisar que no haya caña derramada en el campo ni puntos de trasbordo.
- Informar siempre al caporal de alce cuando se dé una barrida de un lote
- Utilización de bitácora de paro al 100% en todas las actividades que la máquina pare labores, saber diferenciar un paro de una alerta.
- Elaboración de reportes en cada turno (check list cosecha mecanizada y caña contaminada)

#### **Funciones Durante el Mantenimiento y Abastecimiento de Combustible**

- Realizar el paro en bitácora y/o alertas si fuese necesario.
- Reportar el paro del equipo por abastecimiento de combustible o mantenimiento.
- Reportar el cierre del paro e inicio de labores.
- Comunicar cualquier situación que prolongue el paro de la maquinaria.

#### **Funciones Durante el Traslado de Maquinaria**

- Realizar el paro en bitácora.
- Notificar en el grupo de WhatsApp el traslado detallando código de máquina y destino.
- Coordinar con los querqueros el desarmado del canopy para cargarlo en lowboy.

#### **Funciones en la Finalización de Turno de Operación**

- Realizar un paro en bitácora por cambio de turno, evidenciar también el tiempo de cambio de cuchillas primarias, ya que normalmente dejamos solo cambio de turno
- Compartir cualquier información relevante a su relevo, con respecto a la operación y los riesgos presentes en el lote.
- Compartir reporte de finalización de turno, detallando cantidad de equipos cargados y tiempos perdidos principalmente.
- Medir, reportar área y estimativa de toneladas pendiente de corte en el lote que se está cosechando.
- Entregar área trabajada al relevo, verificando la calidad de trabajo realizada.

#### **Otras cualidades y habilidades**

1. Proactivo.
2. Responsable
3. Excelentes relaciones interpersonales.
4. Trabajo en equipo.
5. Saber trabajar bajo presión.
6. Capacidad de análisis.
7. Honestidad.
8. Liderazgo.

<b>Identificación del cargo</b>	
<b>Nombre del cargo</b>	• Querquero
<b>Dependencia</b>	Área Operativa
<b>Número de cargos</b>	120
<b>Reporta a (Nombre del Cargo)</b>	Responsable de zona
<b>Requisitos Mínimos</b>	

<b>Requisitos de formación</b>	5to grado.
<b>Requisitos de experiencia</b>	1 año como mínimo en puestos similares
<b>Funciones Previas a Inicio de Turno de Operación</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocarse el equipo de seguridad.</li> <li>• Mantener su herramienta de trabajo afilada.</li> <li>• Atender las indicaciones del chequero en cuanto a la distribución en el surco para la recolección de la caña.</li> <li>• Recibir información del turno saliente.</li> </ul>	
<b>Funciones Durante la operación</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recolectar toda la caña que la máquina no logra recoger durante la cosecha y colocarla en el surco aledaño.</li> <li>• Comunicar al operador de cosecha cualquier sugerencia para mejorar la calidad de corte.</li> <li>• Recorrer todo el largo del surco para asegurar así la recolección de la caña en toda la superficie del lote.</li> <li>• Cortar la caña en los extremos del surco para facilitar la cosecha cuando la máquina no pueda acceder libremente por obstáculos.</li> <li>• Desbejucar la máquina si fuese necesario.</li> <li>• Permanecer alerta en todo momento.</li> <li>• Realizar señales de advertencia a los operadores, cuando estos estén haciendo maniobras cerca de obstáculos.</li> </ul>	
<b>Funciones Durante el Mantenimiento y Abastecimiento de Combustible</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colaborar en la limpieza de la cosechadora. Y en todo el mantenimiento del equipo</li> </ul>	
<b>Funciones Durante el Traslado de Maquinaria</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarmar y montar canopy en lowboy asignado para su traslado.</li> <li>• Reportar a supervisor de alce avances en ruta a la hora del traslado</li> </ul>	
<b>Funciones en la Finalización de Turno de Operación</b>	

- Compartir cualquier información relevante a su relevo, con respecto a la operación y los riesgos presentes en el lote. (dejar limpia el área de trabajo).

#### **Otras cualidades y habilidades**

1. Proactivo.
2. Responsable
3. Excelentes relaciones interpersonales.
4. Trabajo en equipo.
5. Saber trabajar bajo presión.
6. Capacidad de análisis.
7. Honestidad.
8. Liderazgo.

### **Identificación del cargo**

<b>Nombre del cargo</b>	• Acomodador
<b>Dependencia</b>	Área Operativa
<b>Número de cargos</b>	80
<b>Reporta a (Nombre del Cargo)</b>	Responsable de zona
<b>Requisitos Mínimos</b>	
<b>Requisitos de formación</b>	No necesario
<b>Requisitos de experiencia</b>	1 año como mínimo en puestos similares
<b>Funciones Previas a Inicio de Turno de Operación</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocarse equipo de seguridad.</li> <li>• Recibir información del turno saliente.</li> <li>• Identificar la zona de trasiego de caña.</li> </ul>	
<b>Funciones Durante la operación</b>	

- Permanecer en área de trasiego desde que se coloque el primer autovolteo cargado
- Dirigir al operador de tractor para alinear correctamente el autovolteo y evitar derramar la caña o golpear estructura de la rastra
- Distribuir de manera uniforme la caña en todo el espacio de la rastra.
- Asegurarse de que las rastras están correctamente posicionadas para evitar desperdicios de caña.

#### **Funciones Durante el Mantenimiento y Abastecimiento de Combustible**

- Colaborar en la limpieza de la cosechadora, y en todo el mantenimiento del equipo
- N/A

#### **Funciones Durante el Traslado de Maquinaria**

- Desarmar y montar canopy en lowboy asignado para su traslado.

#### **Funciones en la Finalización de Turno de Operación**

- Dejar limpio el área de trasiego, recogiendo algún derrame de caña
- Compartir cualquier información relevante a su relevo, con respecto a la operación y los riesgos presentes en el lote.

#### **Otras cualidades y habilidades**

1. Proactivo.
2. Responsable
3. Excelentes relaciones interpersonales.
4. Trabajo en equipo.
5. Saber trabajar bajo presión.
6. Facilidad de expresión.
7. Honestidad.
8. Liderazgo.

<b>Identificación del cargo</b>	
<b>Nombre del cargo</b>	• Gestor de tráfico
<b>Dependencia</b>	Área Operativa
<b>Número de cargos</b>	40
<b>Reporta a (Nombre del Cargo)</b>	Responsable de zona
<b>Requisitos Mínimos</b>	
<b>Requisitos de formación</b>	Título de bachiller
<b>Requisitos de experiencia</b>	1 año como mínimo en puestos similares
<b>Funciones Previas a Inicio de Turno de Operación</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocarse el equipo de seguridad.</li> <li>• Garantizar la buena ubicación de las señalizaciones en carretera</li> <li>• Contabilizar el transporte vacío afuera de la hacienda.</li> </ul>	
<b>Funciones Durante la operación</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordinar con el chequero el ingreso y salida de rastras para asegurar así una logística fluida y ordenada.</li> <li>• Comunicar al chequero siempre que se esté quedando sin transporte el frente de cosecha.</li> <li>• Cuidar los insumos y señalizaciones en el ingreso a la hacienda.</li> <li>• Realizar las actividades de paro de tráfico y colocación de conos siempre que un camión vaya a ingresar o salir de la hacienda.</li> <li>• Reportar al chequero cualquier situación que se presente durante la jornada.</li> </ul>	
<b>Funciones Durante el Mantenimiento y Abastecimiento de Combustible</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• N/A</li> </ul>	
<b>Funciones Durante el Traslado de Maquinaria</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recolectar y cargar todos los conos e implementos de señalización en el lowboy asignado para su traslado.</li> </ul>	
<b>Funciones en la Finalización de Turno de Operación</b>	

- Compartir cualquier información relevante a su relevo, con respecto a la operación y los riesgos presentes en la entrada de la hacienda.

**Otras cualidades y habilidades**

1. Proactivo.
2. Responsable
3. Excelentes relaciones interpersonales.
4. Trabajo en equipo.
5. Saber trabajar bajo presión.
6. Facilidad de expresión.
7. Honestidad.
8. Liderazgo.

### ***Plan de Capacitación***

En el dinámico entorno de la agricultura mecanizada, la eficiencia y el rendimiento de las máquinas cosechadoras del ingenio estudiado son cruciales para el éxito operativo. Para garantizar un funcionamiento óptimo de estas maquinarias, es fundamental contar con un equipo de mantenimiento altamente capacitado y competente. Es en este contexto que se plantea la necesidad de desarrollar un plan de capacitación integral, orientado a mejorar la capacidad de asistencia y diagnóstico del personal encargado del mantenimiento de dichas cosechadoras.

Como meta principal de esta propuesta funcional de plan de capacitación se tiene el dotar al equipo de mantenimiento con las habilidades y conocimientos necesarios para identificar, diagnosticar y resolver eficazmente las diversas fallas que puedan surgir durante la operación de las máquinas cosechadoras del ingenio estudiado.

Este plan abarca el desarrollo y la mejora de las capacidades de asistencia y diagnóstico del personal en el área de taller de cosecha mecanizada. Se centra en los aspectos mecánicos, hidráulicos y eléctricos de los equipos, con el objetivo de optimizar los trabajos de mantenimiento preventivo y predictivo, con el fin último de minimizar los mantenimientos correctivos y reducir los tiempos de paro originados por fallas operativas.

Esta iniciativa se fundamenta en la falta de entidades o instituciones que ofrezcan capacitación técnica especializada en el país, lo que resulta en una brecha de conocimiento en el personal de mantenimiento. Actualmente, la contratación se basa en bases automotrices generales, lo que no proporciona el alcance técnico necesario para un mantenimiento adecuado de la maquinaria agrícola.

Además de reducir los costos asociados con los tiempos de paro y reparaciones mal ejecutadas, busca minimizar el porcentaje de retrabajos, mejorar la disponibilidad mecánica y la utilización de maquinaria, estandarizar la brecha de conocimiento entre el personal de mantenimiento y brindar una visión preventiva para anticiparse a posibles fallas.

### **Objetivo**

Brindar una propuesta funcional en materia de plan de capacitación para mejorar la capacidad de asistencia y diagnóstico del personal encargado del mantenimiento de las maquinas cosechadoras del ingenio estudiado.

### **Alcance**

El plan de capacitación presentado está orientado a desarrollar y mejorar las capacidades de asistencia y diagnóstico del personal de mantenimiento en el área de taller de cosecha mecanizada, buscando reducir los tiempos de paro originados por diversas fallas presentadas en operación.

El enfoque del plan está orientado a los apartados mecánicos, hidráulicos y eléctricos de los equipos para eficientizar los trabajos realizados en materia de mantenimientos preventivos y predictivos, buscando minimizar los mantenimientos correctivos.

### **Justificación**

En cuanto a la justificación del plan de capacitación se orienta a que en el país no existe ninguna entidad, escuela, institución, información documentada ni gubernamental o particular que realice este tipo de capacitaciones por ello no hay ningún enfoque técnico agrícola que permita formar mano de obra calificada como operadores o mecánicos en temas de cosechadoras, tractores, implementos o ningún equipo o maquinaria agrícola.

Actualmente los ingenios lo que hacen es contratar al personal con ciertas bases automotrices como lo son bachillerato automotriz principalmente, Pero esto no brinda la suficiente herramienta como para tener el alcance técnico necesario para dar un mantenimiento preventivo o correctivo adecuado en la maquinaria agrícola.

### **Importancia**

En cuanto a la importancia podemos mencionar lo siguiente:

- Reducir costos al minimizar los tiempos de paro por diagnóstico y reparaciones mal ejecutadas. Minimizar los costos por daños en componentes y repuestos debido al mal manejo durante las reparaciones que ejecuta el personal con menor conocimiento.
- Minimizar el porcentaje de retrabajos en las reparaciones de cosechadoras
- Mejorar la disponibilidad mecánica y utilización de maquinaria mejorando así la eficiencia de toneladas métricas diarias por máquina.
- Estandarizar la brecha de conocimiento entre todo el personal de mantenimiento garantizando así un mismo nivel de atención en cualquier turno de la operación e incrementa el nivel de autoconfianza en el personal de asistencia.
- Brindar una mayor visión preventiva a todo el personal de asistencia técnica para que tengan la capacidad de anticiparse a todas las fallas potenciales que se puedan detectar en la maquinaria.

## **Metodología**

A continuación, se plantea la metodología para el plan de capacitación.

### 1. Análisis de necesidades de capacitación:

- Identificar las habilidades y conocimientos actuales del personal de mantenimiento.
- Evaluar las áreas de mejora específicas en diagnóstico y asistencia para las máquinas cosechadoras del ingenio estudiado.

### 2. Diseño del plan de capacitación:

- Desarrollar un plan detallado que incluya los temas a cubrir en cada área: mecánica, hidráulica y eléctrica.
- Determinar el contenido del curso, recursos necesarios y duración de las sesiones.
- Establecer objetivos de aprendizaje claros y medibles para cada módulo.

### 3. Desarrollo de materiales:

- Crear material didáctico y recursos de aprendizaje, como manuales, presentaciones, videos instructivos y actividades prácticas.
- Adaptar los materiales al nivel de comprensión del personal y al contexto específico de las máquinas cosechadoras del ingenio estudiado.

### 4. Implementación del plan de capacitación:

- Programar sesiones de capacitación regulares, considerando el horario y la disponibilidad del personal.
- Asignar instructores con experiencia en mantenimiento de maquinaria agrícola.
- Realizar sesiones teóricas y prácticas para reforzar el aprendizaje.

#### 5. Evaluación y seguimiento:

- Evaluar el progreso del personal mediante pruebas de conocimiento, evaluaciones prácticas y retroalimentación continua.
- Identificar áreas adicionales de mejora y ajustar el plan de capacitación según sea necesario.
- Mantener un registro del desempeño y la participación del personal en el programa de capacitación.

#### 6. Evaluación del impacto:

- Medir el impacto del plan de capacitación en la reducción de tiempos de paro, costos de mantenimiento y calidad del servicio.
- Recopilar comentarios y sugerencias del personal para mejorar futuras capacitaciones.
- Comparar los resultados con los objetivos establecidos para determinar la efectividad del programa.

#### 7. Mejora continua:

- Utilizar la retroalimentación recibida para realizar ajustes y mejoras en el plan de capacitación.
- Mantenerse al tanto de los avances tecnológicos y las mejores prácticas en el mantenimiento de maquinaria agrícola para actualizar el contenido del curso de manera regular.
- Promover una cultura de aprendizaje continuo dentro de la organización.
- Esta metodología proporciona un marco estructurado para diseñar, implementar y evaluar un plan de capacitación efectivo que satisfaga las necesidades específicas de mejora en el diagnóstico y asistencia del personal de mantenimiento de las máquinas cosechadoras del ingenio estudiado.

### **Plan de capacitación**

*Cuadro 18. Plan de capacitación para técnicos mecánicos de cosechadoras*

<b>PLAN DE CAPACITACIÓN PARA MECÁNICOS DE COSECHA MECANIZADA</b>		
<b>Nombre</b>		
<b>Cantidad de Horas</b>		
<b>Competencia del plan</b>		
<b>Contenidos:</b>		
<b>N° Módulo y Tema</b>	<b>DESCRIPCIÓN GENERAL</b>	<b>EQUIPO/ MÁQUINA</b>
<b>1</b>	<b>MECÁNICA AUTOMOTRIZ</b>	<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
<b>1</b>	<b>ARMADO DE TRANSMISIÓN MANUAL/TRANSEJE</b>	<b>CARGADORA</b>
	Prepara el área y los insumos a utilizar.	

	Aprendizaje esperado	Prepara la información técnica/manual de partes.	
		Prepara todos los repuestos y componentes.	
		Conoce y aplica el procedimiento de armado de acuerdo al manual.	
		Utiliza los torques recomendados por el fabricante.	
		Analiza el funcionamiento de los componentes de la transmisión.	
		Realiza pruebas al conjunto después de armado.	
		Maneja adecuadamente el conjunto armado.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
2	Aprendizaje esperado	<b>CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DE MOTOR</b>	<b>MOTOR</b>
		Prepara la información técnica a utilizar.	
		Prepara y usa las herramientas adecuadas.	
		Prepara el motor para realizar la actividad.	
		Desmonta todos los componentes necesarios	
		Realiza mediciones previas y comprueba el estado de válvulas.	
		Analiza el estado y funcionamiento del sistema balancín/válvulas.	
		Aplica un método aprobado para calibrar las válvulas.	
		Conoce el orden de encendido del motor.	
		Conoce el concepto de traslape valvular.	
		Instala todos los componentes.	
		Realiza pruebas al motor.	
Utiliza equipo de protección personal.			
3	Aprendizaje esperado	<b>MEDICIÓN DE COMPRESIONES DE MOTOR</b>	<b>MOTOR</b>
		Prepara la información técnica a utilizar.	
		Prepara y usa las herramientas adecuadas.	
		Prepara el motor para realizar la actividad.	
		Desmonta todos los componentes necesarios.	
		Realiza la prueba siguiendo las indicaciones del manual.	
Interpreta la lectura de todos los cilindros.			

		Repite la prueba.	
		Analiza y compara las lecturas.	
		Determina que acciones tomar a partir de la lectura.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
	<b>ATENCIÓN DE FALLAS RELACIONADAS AL CALENTAMIENTO DE MOTOR</b>		<b>MOTOR</b>
<b>4</b>	Aprendizaje esperado	Prepara el área y los insumos a utilizar.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Se informa con el operador para obtener información.	
		Identifica los componentes del sistema afectado.	
		Verifica todos los puntos causantes posibles.	
		Verifica el nivel de refrigerante.	
		Realiza pruebas necesarias para encontrar la falla.	
		Realiza diagnóstico acertado.	
		Reemplaza/limpia/atiende el componente afectado.	
		Realiza pruebas al sistema.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
	<b>DESAIRADO DE SISTEMA DE COMBUSTIBLE DEL MOTOR</b>		<b>MOTOR</b>
<b>5</b>	Aprendizaje esperado	Prepara el área y los insumos a utilizar.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Prepara todos los repuestos y componentes.	
		Analiza el sistema de baja y alta presión.	
		Identifica los puntos de purga en el sistema.	
		Aplica el procedimiento estandarizado.	
		Realiza pruebas.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
<b>6</b>	<b>ARMADO DE DIFERENCIAL DELANTERO/TRASERO</b>		<b>CARGADORA</b>
		Prepara el área y los insumos a utilizar.	

	Aprendizaje esperado	Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Prepara todos los repuestos y componentes.	
		Conoce y aplica el procedimiento de armado de acuerdo al manual.	
		Ajusta y centra la corona en la carcasa.	
		Ajusta el juego del conjunto piñón de ataque-corona.	
		Analiza al funcionamiento del componente.	
		Utiliza los torques recomendados por el fabricante.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
		Maneja adecuadamente el conjunto armado.	
	<b>ARMADO Y DESARMADO DE PLUMA</b>		<b>CARGADORA</b>
7	Aprendizaje esperado	Prepara el área y los insumos a utilizar.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Drena mangueras y recoge los residuos de aceite.	
		Aplica la secuencia de desmontaje.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
		Utiliza el tecele adecuado para el manejo de componentes.	
		Revisa puntos de anclaje en todas las partes.	
		Tiene los cuidados necesarios para evitar daños en cilindros.	
		Prepara los repuestos e insumos antes de la instalación.	
		Aplica la secuencia de montaje.	
		Asegura las partes antes de retirar el tecele/burro.	
		Instala mangueras/motores/cilindros adecuadamente.	
		Utiliza sujetador para pernos en todos los puntos que lo requieren.	
Realiza pruebas para garantizar el funcionamiento del componente.			
8	<b>ARMADO Y DESARMADO DE IMPLEMENTOS DELANTEROS</b>		<b>COSECHADORA</b>

	Aprendizaje esperado	Prepara el área y los insumos a utilizar.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Drena mangueras y recoge los residuos de aceite.	
		Aplica la secuencia de desmontaje.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
		Revisa puntos de anclaje en todas las partes.	
		Tiene los cuidados necesarios para evitar daños en cilindros.	
		Prepara los repuestos e insumos antes de la instalación.	
		Aplica la secuencia de montaje.	
		Asegura las partes antes de retirar el tecele/burro.	
		Instala mangueras/motores/cilindros adecuadamente.	
		Utiliza sujetador para pernos en todos los puntos que lo requieren.	
		Realiza pruebas para garantizar el funcionamiento del componente.	
9	<b>ARMADO Y DESARMADO DE BASE CORTADORA</b>		<b>COSECHADORA</b>
	Aprendizaje esperado	Prepara el área y los insumos a utilizar.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Drena aceite y limpia componentes correctamente.	
		Revisa el estado de todos los componentes.	
		Instala la base en el banco para reparación.	
		Prepara los repuestos e insumos antes de la instalación.	
		Analiza la condición de los componentes.	
		Instala los sellos adecuadamente.	
		Aplica la secuencia de montaje.	
		Utiliza los torques recomendados por el fabricante.	
		Analiza el funcionamiento de los componentes.	

		Utiliza equipo de protección personal.	
		Realiza pruebas al conjunto después de armado.	
	<b>ARMADO Y DESARMADO DE CONJUNTO TROZADOR</b>		<b>COSECHADORA</b>
<b>10</b>	Aprendizaje esperado	Prepara el área y los insumos a utilizar.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Drena aceite y limpia componentes correctamente.	
		Revisa el estado de todos los componentes.	
		Prepara los repuestos e insumos antes de la instalación.	
		Analiza la condición de los componentes.	
		Instala los sellos adecuadamente.	
		Aplica la secuencia de montaje.	
		Utiliza los torques recomendados por el fabricante.	
		Analiza el funcionamiento de los componentes.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
		Realiza pruebas al conjunto después de armado.	
	<b>ARMADO Y DESARMADO DE RODOS ALIMENTADORES</b>		<b>COSECHADORA</b>
<b>11</b>	Aprendizaje esperado	Prepara el área y los insumos a utilizar.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Drena aceite y limpia componentes correctamente.	
		Revisa el estado de todos los componentes.	
		Prepara los repuestos e insumos antes de la instalación.	
		Analiza la condición de los componentes.	
		Aplica la secuencia de montaje.	
		Utiliza los torques recomendados por el fabricante.	
		Analiza el funcionamiento de los componentes.	

		Utiliza equipo de protección personal.	
		Realiza pruebas al conjunto después de armado.	
		<b>MONTAJE Y DESMONTAJE DE ELEVADOR DE CAÑA</b>	<b>COSECHADORA</b>
12	Aprendizaje esperado	Prepara el área y los insumos a utilizar.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Drena aceite y limpia componentes correctamente.	
		Asegura by pass hidráulico (si es necesario).	
		Ejecuta la secuencia de desmontaje	
		Asegura el elevador correctamente al dispositivo de levante.	
		Define indicaciones claras al operador de la máquina.	
		Revisa el estado de todos los componentes.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
		Ejecuta la secuencia de montaje.	
		Asegura el elevador correctamente al dispositivo de levante.	
		Define indicaciones claras al operador de la máquina.	
		Realiza todas las conexiones hidráulicas.	
		Identifica el funcionamiento circuito hidráulico del elevador.	
		<b>REPARACIÓN DE ELEVADOR DE CAÑA</b>	<b>COSECHADORA</b>
13	Aprendizaje esperado	Prepara los repuestos e insumos antes de la instalación.	
		Analiza la condición y posición de los componentes.	
		Aplica la secuencia de montaje de componentes.	
		Utiliza los torques recomendados por el fabricante.	
		Analiza el funcionamiento de los componentes.	
		Utiliza equipo de protección personal.	

		Realiza pruebas al conjunto después de armado.	
14	<b>MONTAJE Y DESMONTAJE DE EXTRACTOR PRIMARIO</b>		<b>COSECHADORA</b>
	Aprendizaje esperado	Prepara el área y los insumos a utilizar.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Drena aceite y limpia componentes correctamente.	
		Revisa el estado de todos los componentes.	
		prepara los repuestos e insumos antes de la instalación.	
		Analiza la condición de los componentes.	
		Aplica la secuencia de montaje.	
		Utiliza los torques recomendados por el fabricante.	
		Analiza el funcionamiento de los componentes.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
		Realiza pruebas al conjunto después de armado.	
15	<b>REEMPLAZO DE CUCHILLAS DE CONJUNTO TROZADOR</b>		<b>COSECHADORA</b>
	Aprendizaje esperado	Prepara el área y los insumos a utilizar.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Desmonta los componentes desgastados aplicando una secuencia lógica.	
		Realiza limpieza en las piezas fijas.	
		Analiza la condición de los componentes.	
		Prepara los repuestos e insumos antes de la instalación.	
		Instala los componentes nuevos aplicando una secuencia lógica.	
		Utiliza los torques recomendados por el fabricante.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
		Realiza pruebas al conjunto después de armado.	

		<b>REEMPLAZO DE ASPAS DE EXTRACTOR PRIMARIO</b>	<b>COSECHADORA</b>
<b>16</b>	Aprendizaje esperado	Prepara el área y los insumos a utilizar.	
		prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Desmonta los componentes desgastados aplicando una secuencia lógica.	
		Realiza limpieza en las piezas fijas	
		analiza la condición de los componentes.	
		Prepara los repuestos e insumos antes de la instalación.	
		Instala los componentes nuevos aplicando una secuencia lógica.	
		Utiliza los torques recomendados por el fabricante.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
		Realiza pruebas al conjunto después de armado.	
		<b>DESMONTAJE Y MONTAJE DE BOMBAS HIDRÁULICAS</b>	<b>CARGADOR Y COSECHADORA</b>
<b>17</b>	Aprendizaje esperado	Prepara el área y los insumos a utilizar.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Drena aceite y limpia componentes correctamente.	
		Desmonta los componentes desgastados aplicando una secuencia lógica.	
		Realiza limpieza en las piezas fijas.	
		Analiza la condición de los componentes.	
		prepara los repuestos e insumos antes de la instalación.	
		Instala los componentes nuevos aplicando una secuencia lógica.	
		Utiliza los torques recomendados por el fabricante.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
Realiza pruebas al conjunto después de armado.			

18	<b>ARMADO Y DESARMADO DE RODOS TUMBADORES</b>		<b>COSECHADORA</b>
	Aprendizaje esperado	Prepara el área y los insumos a utilizar.	
		prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Drena aceite y limpia componentes correctamente.	
		Revisa el estado de todos los componentes.	
		Prepara los repuestos e insumos antes de la instalación.	
		Analiza la condición de los componentes.	
		Aplica la secuencia de montaje.	
		Utiliza los torques recomendados por el fabricante.	
		Analiza el funcionamiento de los componentes.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
Realiza pruebas al conjunto después de armado.			
2	<b>MANEJO DE HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN</b>		<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
1	<b>USO DE PIE DE REY</b>		<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
	Aprendizaje esperado	Identifica las partes principales.	
		Interpretación de medición de interiores.	
		Interpretación de medición de exteriores.	
		Interpretación de medición de profundidades.	
		Uso de la escala del nonio.	
		Uso del seguro para tomar la lectura.	
		Realiza conversiones de decimales a fraccionarios.	
		Realiza conversiones de un sistema a otro.	
		Cuido de la herramienta.	
2	<b>USO DE MICRÓMETRO</b>		<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
Aprendizaje esperado	Identifica las partes principales.		
	Utiliza el micrómetro adecuado.		
	Interpretación de la medición.		
	Realiza conversiones de un sistema a otro.		
	Cuido de la herramienta.		

3	<b>USO DE CALIBRADOR DE HOJAS</b>		<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
	Aprendizaje esperado	Identifica el sistema de medición de la herramienta.	
		Realiza conversiones de un sistema a otro.	
		Selecciona las hojas a utilizar.	
		Cuida la herramienta.	
4	<b>USO DE TORQUÍMETRO</b>		<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
	Aprendizaje esperado	Selección adecuada de la herramienta.	
		Ajuste del torque a utilizar.	
Cuidados de la herramienta.			
3	<b>MANTENIMIENTO DE EQUIPO Y MAQUINARIA AGRÍCOLA</b>		<b>AGRÍCOLA</b>
1	<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>		<b>EQUIPOS AGRÍCOLAS E INDUSTRIALES</b>
	Aprendizaje esperado	Preparativos para mantenimiento en campo.	
		Uso de equipo de protección personal.	
		Aplica el procedimiento/instructivo de mantenimiento.	
		Realiza una revisión de 360°.	
		Coordina con operador para ejecutar mantenimiento.	
Verifica funcionamientos de los sistemas del equipo.			
2	<b>EJECUCIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO/GAMMA</b>		<b>EQUIPOS AGRÍCOLAS E INDUSTRIALES</b>
	Aprendizaje esperado	Prepara los insumos, utensilios, herramientas y repuestos a utilizar.	
		Aplica el procedimiento/instructivo de plan.	
		Realiza el muestreo de aceite siguiendo el procedimiento	
		Recoge desechos y aceite usado.	
		Realiza una revisión de 360°.	
Verifica funcionamientos de los sistemas del equipo.			
3	<b>MANTENIMIENTO CORRECTIVO</b>		<b>EQUIPOS AGRÍCOLAS E INDUSTRIALES</b>

	Aprendizaje esperado	Recolección de información de la falla.	
		Selecciona la herramienta adecuada.	
		Identificación del sistema afectado.	
		Aplicar procedimiento de diagnóstico.	
		Solicita repuestos de forma acertada.	
		Realiza preparativos para intervenir sistema afectado.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Reemplaza/repara/ajusta componentes afectados.	
		Utiliza los torques recomendados por el fabricante.	
		Limpia el área o sistema intervenido.	
		Realiza pruebas al conjunto después de armado.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
4	Aprendizaje esperado	<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO</b>	
		<b>EQUIPOS AGRÍCOLAS E INDUSTRIALES</b>	
		Conoce los preparativos para tomar muestras de aceite.	
		uso adecuado de los insumos bomba, manguera y bote.	
		Etiquetado de muestras de aceite.	
5	Aprendizaje esperado	<b>PROCEDIMIENTO DE DIAGNÓSTICO GENERAL</b>	
		<b>EQUIPOS AGRÍCOLAS E INDUSTRIALES</b>	
		Recolección de información de la falla.	
		Identificación del sistema afectado.	
		Realiza pruebas para confirmar falla.	
Utiliza información técnica relacionada al problema.			
Identifica las posibles causas de la falla.			
Realiza pruebas a los componentes relacionados con la falla.			

		Establece un diagnóstico.	
		Propone una solución de la falla.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
<b>4</b>	<b>MANTENIMIENTO DE EQUIPOS PESADOS</b>		<b>PESADOS Y ARRASTRE</b>
<b>1</b>	<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>		<b>PESADOS Y ARRASTRE</b>
	Aprendizaje esperado	Preparativos para mantenimiento en campo.	
		Uso de equipo de protección personal.	
		Aplica el procedimiento/instructivo de mantenimiento.	
		Realiza una revisión de 360°.	
		Coordina con operador para ejecutar mantenimiento.	
		Verifica funcionamientos de los sistemas del equipo.	
<b>2</b>	<b>EJECUCIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO/GAMMA</b>		<b>PESADOS Y ARRASTRE</b>
	Aprendizaje esperado	Prepara los insumos, utensilios, herramientas y repuestos a utilizar.	
		Aplica el procedimiento/instructivo de plan.	
		Realiza el muestreo de aceite siguiendo el procedimiento	
		Recoge desechos y aceite usado.	
		Realiza una revisión de 360°.	
		Verifica funcionamientos de los sistemas del equipo.	
<b>3</b>	<b>MANTENIMIENTO CORRECTIVO</b>		<b>PESADOS Y ARRASTRE</b>
	Aprendizaje esperado	Recolección de información de la falla.	
		Selecciona la herramienta adecuada.	
		Identificación del sistema afectado.	
		Aplicar procedimiento de diagnóstico.	
		Solicita repuestos de forma acertada.	
		Realiza preparativos para intervenir sistema afectado.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	

		Reemplaza/repara/ajusta componentes afectados.	
		Utiliza los torques recomendados por el fabricante.	
		Limpia el área o sistema intervenido.	
		Realiza pruebas al conjunto después de armado.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
	<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO</b>		<b>PESADOS Y ARRASTRE</b>
<b>4</b>	Aprendizaje esperado	Conoce los preparativos para tomar muestras de aceite.	
		Uso adecuado de los insumos bomba, manguera y bote.	
		Etiquetado de muestras de aceite.	
		Medición de temperatura.	
		Interpretación y comparación de lectura de temperatura.	
	<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO</b>		<b>PESADOS Y ARRASTRE</b>
<b>5</b>	Aprendizaje esperado	Recolección de información de la falla.	
		Identificación del sistema afectado.	
		Realiza pruebas para confirmar falla.	
		Utiliza información técnica relacionada al problema.	
		Identifica las posibles causas de la falla.	
		Realiza pruebas a los componentes relacionados con la falla.	
		Establece un diagnóstico.	
		Propone una solución de la falla.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
<b>5</b>	<b>LECTURA DE MANUALES TÉCNICOS</b>		<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
	<b>USO DE MANUALES DE PARTES</b>		<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
<b>1</b>	Aprendizaje esperado	Identifica el manual adecuado por marca y modelo.	
		Utiliza el índice numérico provisto por el fabricante.	
		Identifica el orden lógico en el que está organizado el manual.	

		Identifica el número de parte actualizado.	
		Identifica las vistas adecuadas por número de serie.	
		Identifica el número de parte solicitado.	
		Conoce los arreglos instalados en los equipos.	
		Cuido del material/manual.	
		<b>USO DE MANUAL DE REPARACIÓN</b>	<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
2	Aprendizaje esperado	Identifica el manual adecuado por marca y modelo.	
		Utiliza el índice numérico provisto por el fabricante.	
		Identifica el orden lógico en el que está organizado el manual.	
		Identifica el sistema en particular a intervenir.	
		Lee toda la información provista antes de realizar la reparación/ajuste.	
		Sigue las instrucciones al momento de realizar la reparación.	
		Conoce los arreglos instalados en los equipos.	
		Cuido del material/manual.	
		<b>USO DE MANUALES DE DIAGNÓSTICO</b>	<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
3	Aprendizaje esperado	Identifica el manual adecuado por marca y modelo.	
		Utiliza el índice numérico provisto por el fabricante.	
		Identifica el orden lógico en el que está organizado el manual.	
		Identifica la sección de descripción de funcionamiento.	
		Identifica la sección de códigos de falla.	
		Identifica la sección de diagramas eléctrico.	
		Identifica la sección de diagramas hidráulicos.	
		Cuido del material/manual.	
6		<b>SISTEMAS NEUMÁTICOS E HIDRÁULICOS</b>	<b>AGRÍCOLA E INDUSTRIAL</b>

		<b>EMPACADO DE BOMBA DE CAUDAL VARIABLE SUNDSTRAND S90</b>	<b>CARGADORA Y COSECHADORA</b>
<b>1</b>	Aprendizaje esperado	Prepara la información técnica a utilizar.	
		Prepara y usa las herramientas adecuadas.	
		Coloca el componente en un banco/prensa limpia.	
		Limpia el componente a intervenir.	
		Realiza el desarmado siguiendo el procedimiento del manual.	
		Revisa el estado de todas las partes del componente.	
		Prepara los repuestos e insumos antes de la instalación.	
		Analiza la condición y el funcionamiento de los componentes.	
		Realiza el armado siguiendo el procedimiento del manual.	
		Utiliza los torques recomendados por el fabricante.	
		Realiza pruebas al conjunto armado.	
	Utiliza equipo de protección personal.		
		<b>PRUEBAS A BOMBA DE CAUDAL VARIABLE SUNDSTRAND S90</b>	<b>CARGADORA Y COSECHADORA</b>
<b>2</b>	Aprendizaje esperado	Prepara la información técnica a utilizar.	
		Prepara y usa las herramientas adecuadas.	
		Medición de presiones.	
		Medición de temperatura de trabajo.	
		Conoce los puntos críticos a revisar.	
		Analiza flujo de aceite en el sistema hidráulico.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
		<b>ARMADO DE BOMBA DE ENGRANAJES</b>	<b>CARGADORA Y COSECHADORA</b>
<b>3</b>	Aprendizaje esperado	Prepara la información técnica a utilizar.	
		Prepara y usa las herramientas adecuadas.	
		Coloca el componente en un banco/prensa limpia.	
		Limpia los componentes a intervenir.	

		Realiza el desarmado siguiendo el procedimiento del manual.	
		Revisa el estado de todas las partes del componente.	
		Prepara los repuestos e insumos antes de la instalación.	
		Analiza la condición y el funcionamiento de los componentes.	
		Realiza el armado siguiendo el procedimiento del manual.	
		Utiliza los torques recomendados por el fabricante.	
		Realiza pruebas al conjunto armado.	
		Utiliza equipo de protección personal	
	<b>PRUEBAS A BOMBA DE ENGRANAJES</b>		<b>CARGADORA Y COSECHADORA</b>
<b>4</b>	Aprendizaje esperado	Prepara la información técnica a utilizar.	
		Prepara y usa las herramientas adecuadas.	
		Medición de presiones.	
		Medición de temperatura de trabajo.	
		Conoce los puntos críticos a revisar.	
		Analiza flujo de aceite en el sistema hidráulico.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
	<b>EMPACADO DE MOTOR HIDRÁULICO CHARLYNN</b>		<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
<b>5</b>	Aprendizaje esperado	Prepara el área y los insumos a utilizar.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Limpia el componente a intervenir.	
		Revisa el estado de todas las partes del componente.	
		Marca el componente para su desarmado.	
		Realiza el desarmado siguiendo el procedimiento del manual.	
		Prepara los repuestos e insumos antes de la instalación.	
		Analiza la condición y el funcionamiento de los componentes.	

		Instala los sellos adecuadamente.	
		Realiza el armado siguiendo el procedimiento del manual.	
		Utiliza los torques recomendados por el fabricante.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
		Realiza pruebas al conjunto después de armado.	
	<b>EMPACADO DE MOTOR HIDRÁULICO DE ENGRANAJES</b>		<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
<b>6</b>	Aprendizaje esperado	Prepara el área y los insumos a utilizar.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Limpia el componente a intervenir.	
		Revisa el estado de todas las partes del componente.	
		Marca el componente para su desarmado.	
		Realiza el desarmado siguiendo el procedimiento del manual.	
		Prepara los repuestos e insumos antes de la instalación.	
		Analiza la condición y el funcionamiento de los componentes.	
		Instala los sellos adecuadamente.	
		Realiza el armado siguiendo el procedimiento del manual.	
		Utiliza los torques recomendados por el fabricante.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
		Realiza pruebas al conjunto después de armado.	
	<b>EMPACADO DE MOTOR DE PISTONES AXIALES</b>		<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
<b>7</b>	Aprendizaje esperado	Prepara el área y los insumos a utilizar.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Limpia el componente a intervenir	
		Revisa el estado de todas las partes del componente.	

		Marca los componentes para su desarmado.	
		Realiza el desarmado siguiendo el procedimiento del manual.	
		Prepara los repuestos e insumos antes de la instalación.	
		Analiza la condición y el funcionamiento de los componentes.	
		Instala los sellos adecuadamente.	
		Realiza el armado siguiendo el procedimiento del manual.	
		Utiliza los torques recomendados por el fabricante.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
		Realiza pruebas al conjunto después de armado.	
		<b>EMPACADO DE VÁLVULA ORBITROL</b>	<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
<b>8</b>	Aprendizaje esperado	Prepara el área y los insumos a utilizar.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Limpia el componente a intervenir.	
		Revisa el estado de todas las partes del componente.	
		Marca el componente para su desarmado.	
		Realiza el desarmado siguiendo el procedimiento del manual.	
		Prepara los repuestos e insumos antes de la instalación.	
		Analiza la condición y el funcionamiento de los componentes.	
		Instala los sellos adecuadamente.	
		Realiza el armado siguiendo el procedimiento del manual.	
		Ajusta la sincronización del componente.	
		Utiliza los torques recomendados por el fabricante.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
Realiza pruebas al conjunto después de armado.			

<b>9</b>	<b>EMPACADO DE CILINDROS HIDRÁULICOS DE SIMPLE EFECTO</b>		<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
	Aprendizaje esperado	Prepara el área y los insumos a utilizar.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Limpia el componente a intervenir.	
		Revisa el estado de todas las partes del componente.	
		Realiza el desarmado siguiendo el procedimiento del manual.	
		Prepara los repuestos e insumos antes de la instalación.	
		Analiza la condición y el funcionamiento de los componentes.	
		Instala los sellos adecuadamente.	
		Realiza el armado siguiendo el procedimiento del manual.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
Realiza pruebas al conjunto después de armado.			
<b>10</b>	<b>EMPACADO DE CILINDRO HIDRÁULICOS DE DOBLE EFECTO</b>		<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
	Aprendizaje esperado	Prepara el área y los insumos a utilizar.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Limpia el componente a intervenir.	
		Revisa el estado de todas las partes del componente.	
		Realiza el desarmado siguiendo el procedimiento del manual.	
		Prepara los repuestos e insumos antes de la instalación.	
		Analiza la condición y el funcionamiento de los componentes.	
		Instala los sellos adecuadamente.	
		Realiza el armado siguiendo el procedimiento del manual.	
		Utiliza equipo de protección personal.	

		Realiza pruebas al conjunto después de armado.	
11	<b>EMPACADO DE COMANDOS HIDRÁULICOS</b>		<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
	Aprendizaje esperado	Prepara el área y los insumos a utilizar.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Limpia el componente a intervenir.	
		Revisa el estado de todos las partes del componente.	
		Realiza el desarmado siguiendo el procedimiento del manual.	
		Prepara los repuestos e insumos antes de la instalación.	
		Analiza la condición y el funcionamiento de los componentes.	
		Instala los sellos adecuadamente.	
		Realiza el armado siguiendo el procedimiento del manual.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
Realiza pruebas al conjunto después de armado.			
12	<b>MEDICIÓN DE PRESIONES HIDRÁULICAS</b>		<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
	Aprendizaje esperado	Prepara la máquina para realizar la prueba.	
		Prepara la información técnica manuales/folletos.	
		Prepara la herramienta adecuada.	
		Conexión de equipo de medición.	
		Medición de presiones de diferentes circuitos de trabajo.	
		Ajuste de presiones mediante válvula de alivio.	
		Análisis e interpretación de lecturas.	
		Utiliza equipo de protección personal.	
Cuida la herramienta.			
7	<b>INGLÉS TÉCNICO</b>		<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
1	<b>DOMINIO DE PALABRAS EN INGLÉS SOBRE MECÁNICA AUTOMOTRIZ GENERAL</b>		<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
	Aprendizaje esperado	Conoce 50 palabras básicas usadas en el ámbito automotriz general.	

		Conoce 40 palabras básicas usadas en el ámbito automotriz general.	
		Conoce 25 palabras básicas usadas en el ámbito automotriz general.	
		Conoce 10 palabras básicas usadas en el ámbito automotriz general.	
	<b>DOMINIO DE PALABRAS EN INGLÉS SOBRE EQUIPO PESADO Y DE ARRASTRE</b>		<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
<b>2</b>	Aprendizaje esperado	Conoce 50 palabras básicas usadas en el ámbito automotriz pesado y de arrastre.	
		Conoce 40 palabras básicas usadas en el ámbito automotriz pesado y de arrastre.	
		Conoce 25 palabras básicas usadas en el ámbito automotriz pesado y de arrastre	
		Conoce 10 palabras básicas usadas en el ámbito automotriz pesado y de arrastre.	
	<b>DOMINIO DE PALABRAS EN INGLÉS SOBRE MAQUINARIA DE ALCE DE CAÑA</b>		<b>TODOS LOS EQUIPOS</b>
<b>3</b>	Aprendizaje esperado	Conoce 50 palabras básicas usadas en el ámbito automotriz pesado y de arrastre.	
		Conoce 40 palabras básicas usadas en el ámbito automotriz pesado y de arrastre.	
		Conoce 25 palabras básicas usadas en el ámbito automotriz pesado y de arrastre.	
		Conoce 10 palabras básicas usadas en el ámbito automotriz pesado y de arrastre.	

*Fuente. Elaboración propia.*

### ***Evaluación de Riesgos***

En esta sección, se presenta la evaluación de riesgos para la operación de cosecha mecanizada en campo, detallada a través de una matriz de riesgos. Esta evaluación se llevó a cabo utilizando rúbricas para analizar y calificar cada uno de los factores de riesgo, incluyendo el impacto, la probabilidad y la matriz de riesgo global.

La matriz de riesgos proporciona una visión clara y estructurada de los posibles riesgos asociados con la operación de cosecha mecanizada, permitiendo identificar y

priorizar las áreas que requieren medidas preventivas y correctivas. Este enfoque sistemático es crucial para garantizar la seguridad, eficiencia y sostenibilidad de las operaciones de cosecha, minimizando los tiempos de inactividad y asegurando la continuidad operativa bajo condiciones controladas y seguras.

### **Impacto/Probabilidad**

El análisis de impacto y probabilidad es fundamental para comprender la gravedad y la frecuencia de los riesgos asociados con la operación de cosecha mecanizada. Al evaluar estos factores, se puede determinar la prioridad de cada riesgo y desarrollar estrategias efectivas para mitigarlos.

Este análisis permite a la empresa tomar decisiones informadas y proactivas, asegurando que se implementen medidas adecuadas para minimizar los efectos adversos en la operación y mejorar la confiabilidad y seguridad de los equipos de cosecha.

*Cuadro 19. Criterios de evaluación de factores de riesgo*

<b>Impacto</b>		
<b>Valor</b>	<b>Calificación</b>	<b>Descripción</b>
1	Baja	Consecuencias o efectos mínimos al cliente o al Organismo.
2	Media	Aunque remediable implica costo y/o acciones adicionales.
3	Alta	Daños al usuario o a la Organización (Impacto legal, económico, social, etc.)

*Fuente. de Video Educación, 2023, <https://youtu.be/dqawJUgwK8k>.*

*Cuadro 20. Criterios de evaluación de factores de riesgo*

<b>Probabilidad</b>		
<b>Valor</b>	<b>Calificación</b>	<b>Descripción</b>
1	Baja	Puede ocurrir solo en consecuencias excepcionales.

2	Media	Podría ocurrir en algún momento
3	Alta	Se espera que ocurra en la mayoría de las circunstancias

Fuente. de Video Educación, 2023, <https://youtu.be/dqawJUgwK8k>.

### Matriz de riesgo

Al utilizar esta matriz, se pueden priorizar los riesgos más críticos y desarrollar planes de acción específicos para mitigarlos. Esto no solo mejora la gestión del mantenimiento, sino que también optimiza la seguridad y eficiencia de las operaciones, asegurando que los recursos se utilicen de manera efectiva para abordar los riesgos más significativos.

Cuadro 21. Matriz de evaluación de riesgos

NIVEL DE RIESGO		PROBABILIDAD		
		Baja	Media	Alta
IMPACTO		1	2	3
Alto	3			
Medio	2			
Bajo	1			

Fuente. de Video Educación, 2023, <https://youtu.be/dqawJUgwK8k>.

### Tratamiento del riesgo

Ilustración 26. Pirámide de tratamiento de riesgo



Fuente. de Video Educación, 2023, <https://youtu.be/dqawJUgwK8>

### Definiciones

#### Evitar el riesgo

Tomar las medidas encaminadas a prevenir su materialización; se logra cuando al interior de los procesos se generan cambios sustanciales por mejoramiento, rediseño o eliminación, es resultado de unos adecuados controles y acciones emprendidas.

#### Reducir el riesgo

Implicar tomar medidas encaminadas a disminuir tanto la probabilidad (medidas de prevención), como el impacto (medidas de protección). La reducción del riesgo es probablemente el método más sencillo y económico para superar las debilidades antes de aplicar medidas más costosas y difíciles.

#### Asumir el riesgo

Luego que el riesgo ha sido reducido o transferido puede quedar un riesgo residual que se mantiene y para esto se elaboran planes para su manejo.

Cuadro 22. Matriz de riesgo de la operación de cosecha mecanizada

RIESGO	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO	PROBABILIDAD	IMPACTO	NIVEL DE RIESGO	MEDIDAS DE MITIGACIÓN UCM	ACCIONES DE PRODUCCIÓN
<b>Choque o colisión con obstáculos</b>	Riesgo que la maquinaria colisione con árboles, postes, muros, etc.	Alta	Medio	Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacitación en maniobras y seguridad en la operación, y reconocimiento del área de trabajo.</li> <li>- Concientizar sobre el enfoque durante la operación de los equipos.</li> <li>- Brindar un medio de comunicación confiable al grupo de operadores.</li> <li>- Utilizar sistemas de alerta y cámaras de retroceso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cerco perimetral alrededor de torres y obstáculos mayores.</li> <li>- Señalización reflectiva en el cerco perimetral y torre.</li> <li>- Eliminar o señalar obstáculos como postes, troncos y piedras de gran tamaño que se encuentren dentro del área cultivada.</li> <li>- Realizar corte manual a 10 metros de radio del obstáculo.</li> </ul>

<b>Trabajo bajo los efectos de sustancias psicoactivas o estupefacientes</b>	Probabilidad de causar accidentes por la poca capacidad de reacción, debido a la alteración del funcionamiento del sistema nervioso central.	Baja	Alto	Bajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concientización sobre las consecuencias del uso de estas sustancias.</li> <li>- Coordinar con SYSO jornadas aleatorias para realizar alcotest a operadores en campo.</li> <li>- Supervisión activa durante las jornadas.</li> </ul>	- Normativa laboral
<b>Contacto con tendido eléctrico</b>	Riesgo de incendio y electrocución.	Media	Alto	Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cumplir el protocolo de operación respetando franjas de seguridad.</li> <li>- Concientizar al personal sobre los peligros de realizar contacto con líneas eléctricas activas.</li> <li>- Asegurarse de mantener todos los extintores en buen estado.</li> </ul>	- Identificar, señalar y notificar todos aquellos lotes donde existan postes o red eléctrica de baja altura.
<b>Vuelco de la cosechadora</b>	Riesgo de vuelco lateral o posterior de la maquinaria.	Media	Alto	Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cumplir el protocolo de operación respetando franjas de seguridad.</li> <li>- Respetar los límites de inclinación y velocidad</li> </ul>	- Colocar personal para cortar caña en un margen de seguridad de 5 metro en

					<p>segura en terrenos irregulares.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Planificar rutas y maniobras para minimizar los riesgos de vuelco.</li> <li>- Fomentar una cultura de comunicación abierta, donde los operadores informen sobre situaciones de riesgo.</li> <li>- Capacitación en maniobras y seguridad en la operación.</li> </ul>	<p>acequias, drenes y barrancos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Señalizar correctamente pozos y hondonada.</li> <li>- Conocer y respetar el protocolo de operación de cosecha mecanizada</li> </ul>
<b>Atrapamiento en componentes</b>	Riesgo de atrapamiento en partes móviles de la cosechadora.	Medio	Alto	Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacitación sobre los puntos de riesgo en la maquinaria.</li> <li>- Uso obligatorio de vestimenta adecuada y equipo de protección personal (EPP).</li> <li>- Bloquear el acceso a componentes en mantenimiento.</li> </ul>	N/A

<p><b>Caída de objetos desde la cosechadora</b></p>	<p>Riesgo de caída de objetos desde la maquinaria en movimiento.</p>	<p>Baja</p>	<p>Medio</p>	<p>Medio</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mantener la plataforma de corte limpia y libre de objetos sueltos.</li> <li>- Promover una cultura de seguridad en la operación agrícola.</li> <li>- Fomentar la comunicación, para advertir sobre la presencia de maquinaria en movimiento y cualquier carga potencialmente insegura.</li> </ul>	<p>N/A</p>
<p><b>Incendio o combustión de la maquinaria</b></p>	<p>Riesgo de incendio en maquinaria/campo.</p>	<p>Baja</p>	<p>Alto</p>	<p>Medio</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mantenimiento preventivo y revisión periódica de sistemas de combustible y lubricantes.</li> <li>- Proporcionar capacitación a los operadores sobre la prevención de incendios, la identificación de riesgos y la respuesta a situaciones de emergencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Una correcta comunicación para llevar a cabo quemas programadas de lotes en cosecha y alrededores.</li> <li>- Mantener activo el protocolo de emergencias para apagar quemas no programadas en las haciendas.</li> </ul>

					<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limpiar el área alrededor de la máquina cuando se encuentren fuera de operación.</li> <li>- Uso y almacenamiento seguro de combustibles.</li> <li>- Instalar extintores adecuados en la maquinaria y revisarlos periódicamente.</li> </ul>	
<b>Exposición a sustancias peligrosas</b>	Riesgo de exposición a pesticidas y productos químicos.	Baja	Medio	Medio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso adecuado de EPP al manipular productos químicos.</li> <li>- Almacenamiento seguro de sustancias peligrosas en la maquinaria.</li> <li>- Capacitación sobre el manejo seguro de productos químicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mantener el área de cosecha libre de productos químicos.</li> <li>- En caso de encontrarse un depósito con producto químico, colaborar con el personal de cosecha para ejecutar el protocolo de caña dejada en campo por contaminación.</li> </ul>

<b>Fatiga y agotamiento del operador</b>	Riesgo de fatiga debido a largas jornadas de trabajo.	Alta	Medio	Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Establecer turnos de trabajo adecuados y programar descansos regulares.</li> <li>- Promover una cultura de descanso y bienestar del operador, respetando los horarios establecidos para ello.</li> <li>- Evitar jornadas excesivamente largas.</li> </ul>	N/A
--	---	------	-------	------	--	-----

*Fuente: Elaboración propia.*

### Riesgos relacionados a la maquina por causas ambientales

Cuadro 23. Riesgos externos o ambientales que impactan en la disponibilidad de la maquinaria

RIESGO	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO	PROBABILIDAD	IMPACTO	NIVEL DE RIESGO	MEDIDAS DE MITIGACIÓN UCM	ACCIONES DE PRODUCCIÓN
<b>Polvo y Suciedad</b>	El polvo en suspensión y la suciedad acumulada en los componentes críticos pueden bloquear los filtros de aire, reducir la eficiencia del motor, causar abrasión en piezas móviles, y obstruir sensores vitales, llevando a un sobrecalentamiento, fallos en el motor, y errores en la operación.	Medio	Alto	Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mantenimiento frecuente de filtros de aire.</li> <li>- Uso de filtros de alta eficiencia.</li> <li>- Inspección regular de componentes móviles para detectar desgaste prematuro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementar limpieza diaria de la maquinaria.</li> <li>- Mantener caminos y áreas de trabajo lo más libres de polvo posible.</li> <li>- Monitoreo continuo de las condiciones de operación mediante sensores limpios y funcionales.</li> </ul>

<p><b>Humedad y Corrosión</b></p>	<p>La exposición constante a ambientes húmedos o mojados puede acelerar la corrosión en componentes metálicos, deteriorar las conexiones eléctricas y electrónicas, y comprometer la integridad estructural de la máquina, lo que puede derivar en fallos eléctricos, pérdidas de rendimiento, y paradas no planificadas.</p>	<p>Alto</p>	<p>Alto</p>	<p>Alto</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de materiales resistentes a la corrosión.</li> <li>- Aplicación de recubrimientos protectores en superficies vulnerables.</li> <li>- Revisión regular de conexiones eléctricas para asegurar su integridad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mantener la maquinaria seca cuando no está en uso.</li> <li>- Almacenar la maquinaria en lugares cubiertos o con protección contra la humedad.</li> <li>- Realizar inspecciones detalladas después de operaciones en ambientes húmedos para identificar y tratar la corrosión incipiente.</li> </ul>
-----------------------------------	---	-------------	-------------	-------------	---	---

<p><b>Temperaturas Extremas</b></p>	<p>El trabajo en temperaturas extremadamente altas o bajas puede causar sobrecalentamiento en el motor, problemas en el sistema de refrigeración, fragilización de materiales, y fallos en el sistema eléctrico. El calor excesivo puede reducir la vida útil de componentes electrónicos y provocar fatiga térmica en materiales metálicos.</p>	<p>Medio</p>	<p>Alto</p>	<p>Alto</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificación y mantenimiento de los sistemas de refrigeración.</li> <li>- Uso de materiales adecuados para bajas temperaturas y que soporten calor extremo.</li> <li>- Monitoreo continuo de temperaturas en componentes clave para evitar sobrecalentamientos o fallos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evitar operar en temperaturas extremas sin preparación adecuada.</li> <li>- Implementar pausas operativas para permitir la refrigeración de la maquinaria.</li> <li>- Uso de lubricantes y fluidos específicos para temperaturas extremas para proteger los componentes internos de la maquinaria.</li> </ul>
-------------------------------------	--	--------------	-------------	-------------	--	--

<p><b>Lluvias Intensas y Barro</b></p>	<p>Lluvias fuertes pueden transformar el terreno en un barro espeso, dificultando el desplazamiento de la maquinaria, aumentando el riesgo de atascos, y sometiendo a los sistemas de tracción a un esfuerzo excesivo. Además, la contaminación por barro en los sistemas hidráulicos puede reducir la eficiencia y causar fallos.</p>	<p>Medio</p>	<p>Alto</p>	<p>Alto</p>	<p>- Reforzar el sistema de tracción y sellos en componentes hidráulicos para evitar la entrada de barro. - Uso de sistemas de limpieza automática en los neumáticos para prevenir la acumulación de barro.</p>	<p>- Planificar la operación en función del clima para evitar condiciones extremadamente húmedas. - Evitar áreas con barro profundo para reducir el riesgo de atascos. - Realizar inspecciones regulares para detectar posibles contaminaciones en los sistemas hidráulicos.</p>
--	--	--------------	-------------	-------------	---	--

<p><b>Viento Fuerte y Tormentas</b></p>	<p>Vientos fuertes y tormentas pueden comprometer la estabilidad de la cosechadora, especialmente en terrenos abiertos, aumentando el riesgo de vuelco o daños estructurales. La fuerza del viento también puede afectar la precisión de la cosecha y provocar la caída de objetos cercanos sobre la maquinaria.</p>	<p>Bajo</p>	<p>Alto</p>	<p>Medio</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspección y refuerzo de las estructuras vulnerables para soportar vientos fuertes.</li> <li>- Monitoreo de las condiciones meteorológicas antes y durante la operación.</li> <li>- Aseguramiento de las áreas de trabajo para evitar objetos sueltos que puedan convertirse en proyectiles peligrosos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operar solo en condiciones climáticas seguras.</li> <li>- Ajustar las rutas de operación para minimizar la exposición al viento fuerte.</li> <li>- Retirar objetos peligrosos o inestables del área de trabajo para prevenir que caigan sobre la maquinaria durante tormentas o ráfagas de viento.</li> </ul>
---	--	-------------	-------------	--------------	---	--

<p><b>Exposición a Rayos UV y Calor Solar Prolongado</b></p>	<p>La exposición prolongada a la radiación UV y al calor intenso puede degradar materiales no metálicos como plásticos y cauchos, causar fatiga térmica en componentes metálicos, y reducir la vida útil de los sistemas electrónicos, aumentando el riesgo de fallos durante la operación.</p>	<p>Alto</p>	<p>Medio</p>	<p>Alto</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de materiales resistentes a los rayos UV en partes expuestas.</li> <li>- Implementación de protectores solares o coberturas cuando la maquinaria esté estacionada.</li> <li>- Inspecciones periódicas de componentes críticos para detectar y reparar daños por exposición solar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mantener la maquinaria cubierta cuando no esté en uso para protegerla del sol.</li> <li>- Realizar revisiones frecuentes de las partes expuestas al sol para identificar posibles daños.</li> <li>- Implementar sistemas de ventilación adecuados para componentes electrónicos, especialmente en climas cálidos.</li> </ul>
--	---	-------------	--------------	-------------	---	---

<p><b>Niebla y Visibilidad Reducida</b></p>	<p>La niebla densa reduce significativamente la visibilidad, aumentando el riesgo de colisiones con obstáculos o con otras máquinas. Esto puede causar daños mecánicos graves y poner en riesgo la seguridad del operador, además de dificultar la navegación y la precisión en el corte de la caña.</p>	<p>Medio</p>	<p>Alto</p>	<p>Alto</p>	<p>- Equipamiento con sistemas de iluminación y visibilidad mejorados, como luces antiniebla y cámaras de alta resolución. - Uso de tecnología de asistencia en la conducción para operar en condiciones de baja visibilidad, como GPS y sensores de proximidad.</p>	<p>- Posponer operaciones durante condiciones de niebla densa para evitar riesgos innecesarios. - Operar a velocidades reducidas y con mayor precaución cuando la visibilidad sea limitada. - Monitoreo constante de las condiciones climáticas para anticipar y mitigar riesgos.</p>
---	--	--------------	-------------	-------------	--	---

*Fuente: Elaboración propia.*

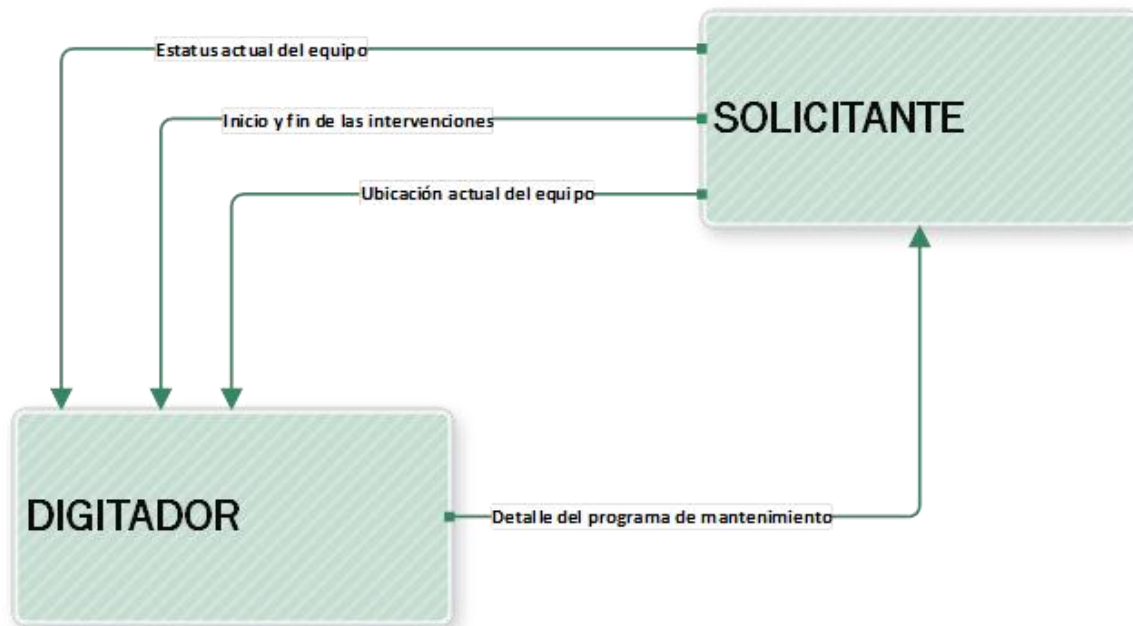
## Comunicación

La fase de comunicación es crucial para garantizar una intercomunicación efectiva y una relación fluida entre las diversas gestiones de mantenimiento y reparaciones de la maquinaria. Esta sección detalla cómo la información debe fluir entre las distintas partes funcionales, asegurando que todos los involucrados estén al tanto de las necesidades y actividades de mantenimiento.

Una comunicación clara y continua permite una coordinación más eficiente, reduce los tiempos de inactividad y mejora la respuesta a las fallas. Establecer protocolos de comunicación sólidos facilita la implementación de soluciones efectivas y asegura que cada intervención sea bien informada y ejecutada con precisión, contribuyendo a la eficiencia y confiabilidad de la operación de cosecha mecanizada.

### Solicitante y digitador

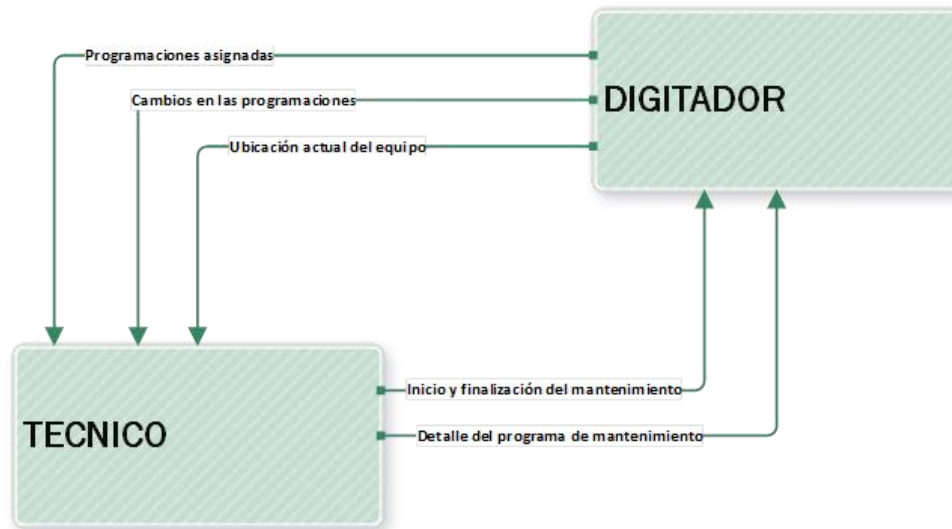
Ilustración 27. Diagrama de información, solicitante-digitador



Fuente: Elaboración

## Técnico y digitador

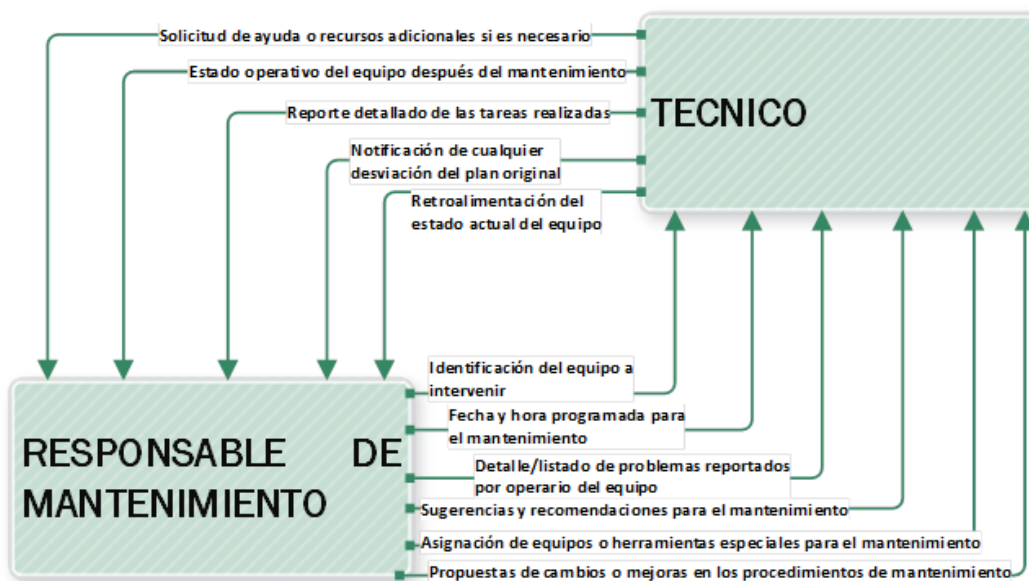
Ilustración 28. Diagrama de información, digitador-técnico



Fuente: Elaboración propia.

## Técnico y responsable de mantenimiento

Ilustración 29. Diagrama de información, responsable de mantenimiento-técnico



Fuente: Elaboración propia.

## Responsable de mantenimiento y programador de repuestos

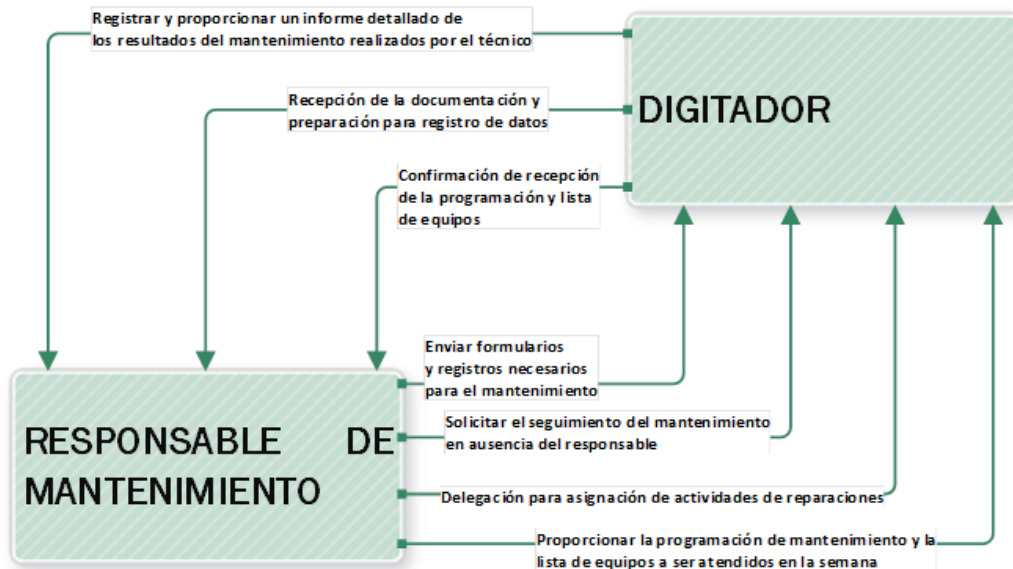
Ilustración 30. Diagrama, responsable de mantenimiento-programador de repuestos



Fuente: Elaboración propia.

## Responsable de mantenimiento y técnico

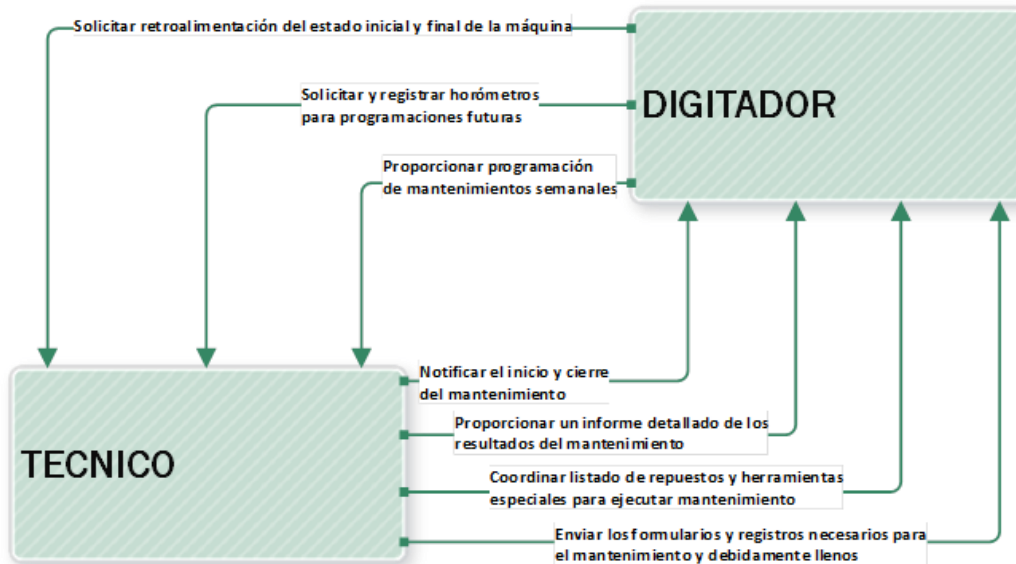
Ilustración 31. Diagrama de información, responsable de mantenimiento-digítador



Fuente: Elaboración propia.

## Técnico y digitador

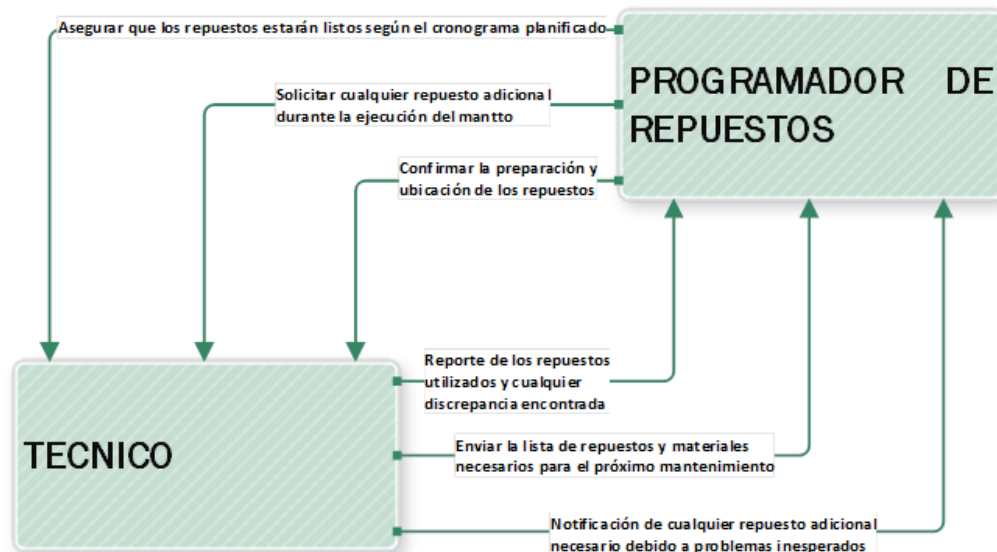
Ilustración 32. Diagrama de información, técnico-digitador



Fuente: Elaboración propia.

## Programador de repuestos y técnico

Ilustración 33. Diagrama de información, técnico-programador de repuestos



Fuente: Elaboración propia.

## **Formatos y diagramas de procesos RCM**

Para optimizar las actividades de mantenimiento de las cosechadoras, es esencial contar con formatos y diagramas de procesos bien estructurados. Estos recursos facilitan la planificación y ejecución de las tareas de mantenimiento, asegurando consistencia y calidad. A continuación, se presentan formatos estandarizados y diagramas de flujo que guían al personal técnico en la identificación de fallas, ejecución de reparaciones y seguimiento de actividades. Estos instrumentos están diseñados para reducir tiempos de inactividad, mejorar la eficiencia operativa y fomentar una cultura de mejora continua, en línea con los estándares de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Los diagramas de flujo detallan cada paso del proceso, desde la identificación de fallas hasta su resolución y registro, proporcionando una guía clara y práctica para el mantenimiento.

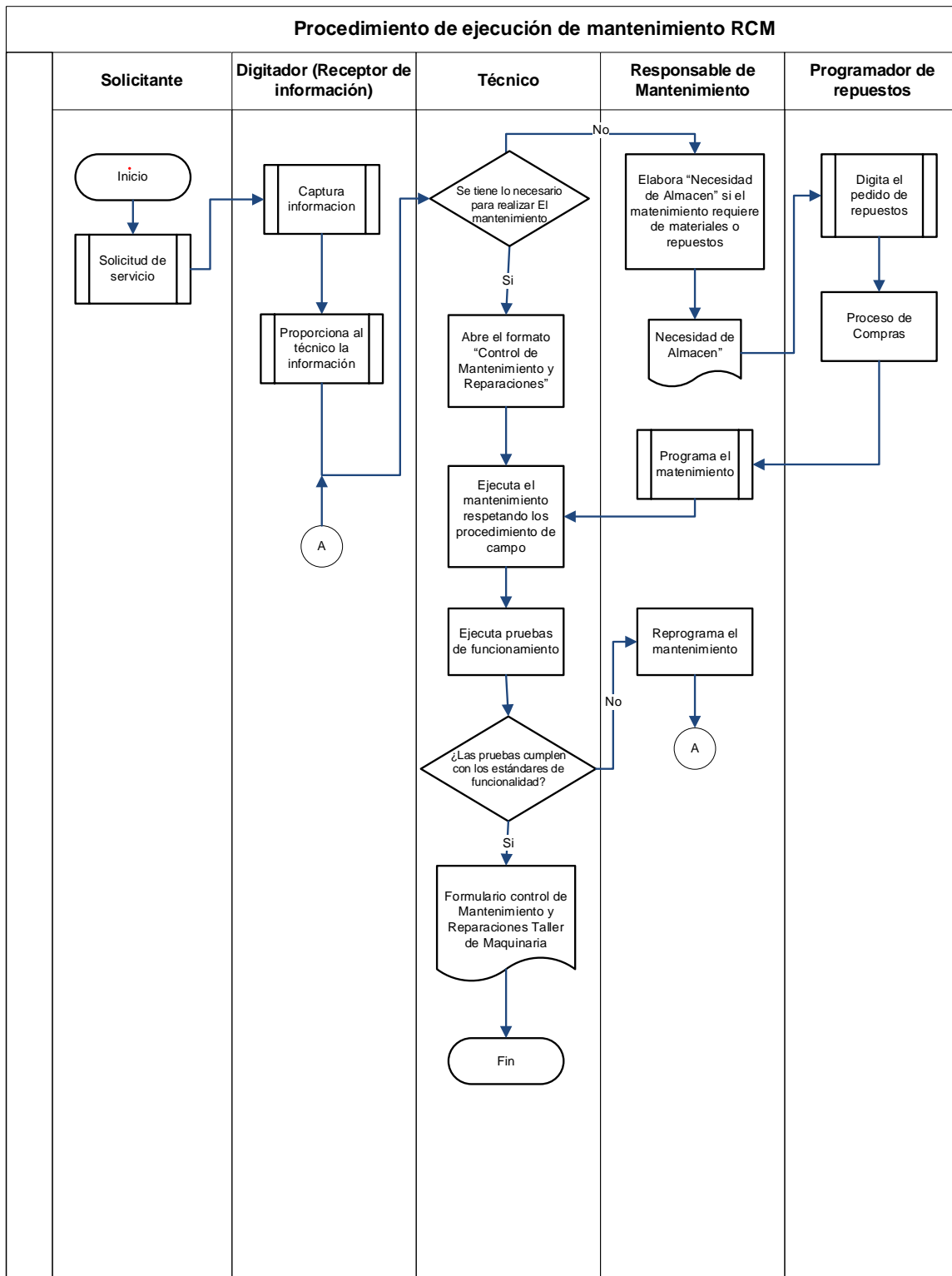
## Ejecución de mantenimiento de maquinaria RCM

Ilustración 34. Formato de ejecución de revisión basada en RCM

DATOS GENERALES			
MAQUINA	CÓDIGO		ÁREA
RESPONSABLE DE MANTENIMIENTO			
EFECTO DE FALLA DETECTADO Y ACCIÓN DESARROLLADA			
EFECTO		ACCIÓN	
MATERIALES UTILIZADOS			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	FECHA DE ENTREGA	PROVEEDOR
RESUMEN DE FALLAS ENCONTRADAS			
MODO DE FALLA	MANTENIMIENTO EJECUTADO	FECHA	TOTAL, HORAS
ENTREGA DEL EQUIPO EN FUNCIONAMIENTO			
ENTREGADO POR:		RECIBIDO POR:	
FECHA DE ENTREGA		HORA DE ENTREGA	

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 35. Diagrama de proceso, ejecución de mantenimiento RCM



Fuente: Elaboración propia.

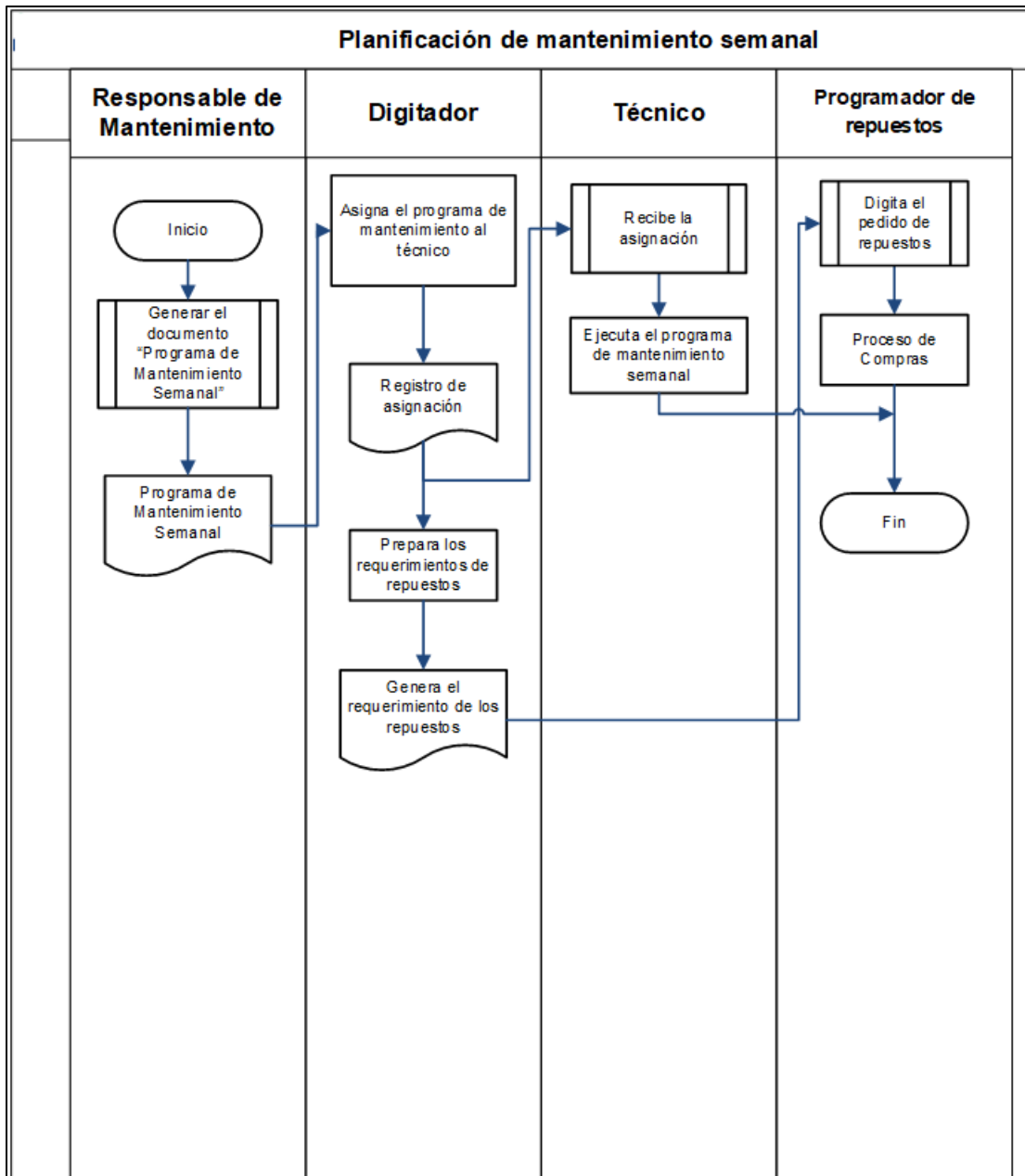
**Programación semanal para revisión de maquinaria, basado en RCM.**

*Cuadro 24. Formato de programación semanal de revisión de maquinaria, basado en RCM*

LISTA DE VERIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO	SEMANA:	AÑO	FECHA PROGRAMADA							REALIZADO POR (TIPO DE TÉCNICO):
	SISTEMA:		L	M	M	J	V	S	D	
ACTIVO EN MANTENIMIENTO	DESCRIPCIÓN	PROGRAMA	L	M	M	J	V	S	D	COMENTARIO
DESTINADA A:		TIEMPO								COMPLETADA POR:

*Fuente: Elaboración propia.*

Ilustración 36. Diagrama de proceso, programación de mantenimiento semanal RCM



Fuente: Elaboración propia.

## **Formato de programación mensual para revisión de maquinaria, basado en RCM**

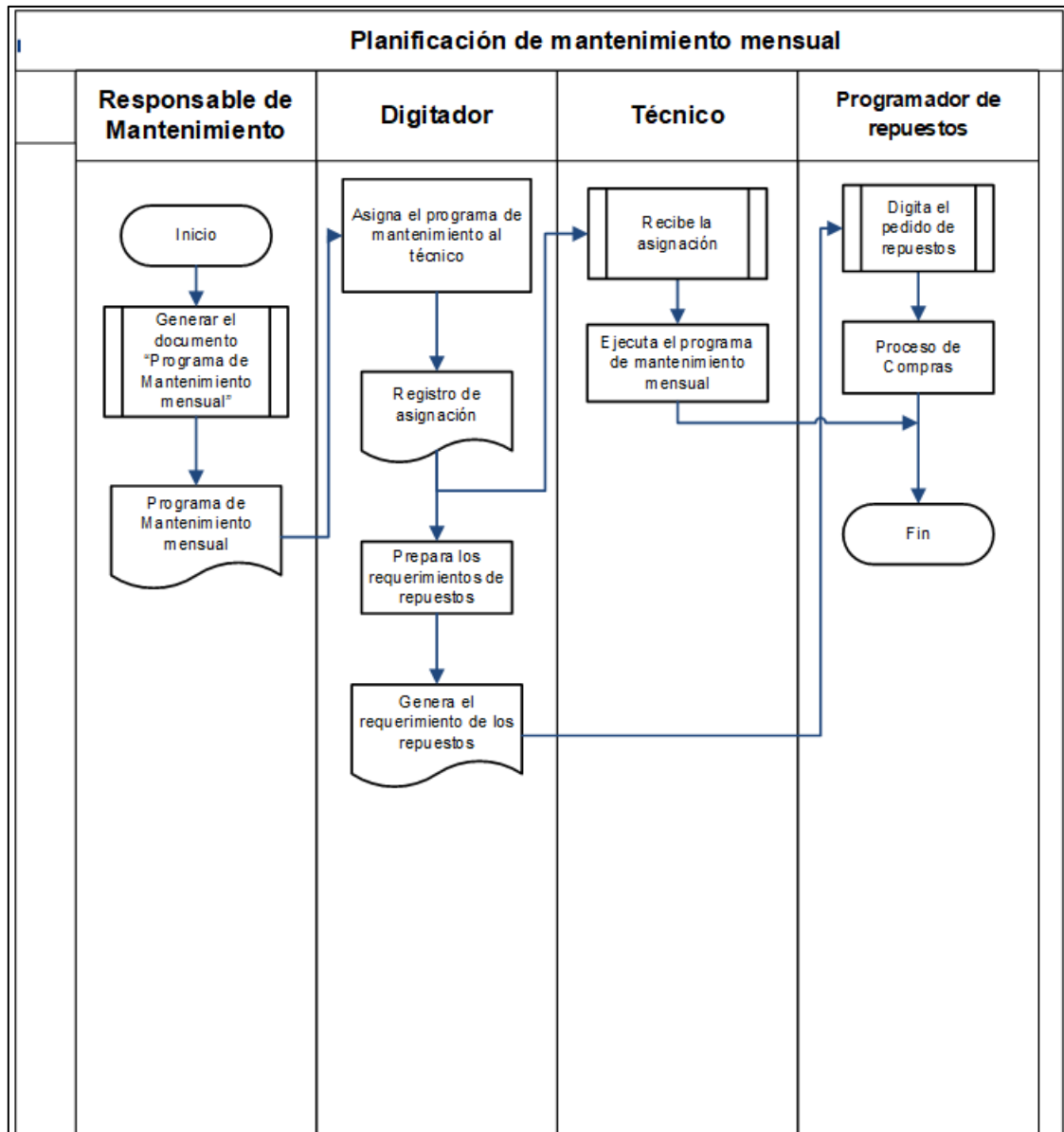
El formato de programación mensual para la revisión de maquinaria, basado en RCM, es una herramienta fundamental para asegurar que las actividades de mantenimiento se realicen de manera planificada y sistemática. Este formato establece un calendario detallado que especifica las tareas de mantenimiento preventivo y predictivo a realizarse cada mes, permitiendo una gestión proactiva y eficiente. Al seguir este formato, se garantiza que todas las máquinas sean revisadas periódicamente, lo que ayuda a prevenir fallas inesperadas, optimizar el rendimiento de los equipos y prolongar su vida útil.

Cuadro 25. Formato de programación mensual de revisión de maquinaria, basado en RCM

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE ZAFRA ANUAL																															
ÁREA DE MANTENIMIENTO:		FECHA DE ELABORACIÓN:																				CANTIDAD CUMPLIMIENTO	% DE CUMPLIMIENTO								
		NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO				MARZO						ABRIL				MAYO			
MAQUINARIA	SUB SISTEMA	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
<b>COMPLETADO POR:</b>		<b>OBSERVACIONES:</b>																				<b>DISPONIBILIDAD ALCANZADA</b>									

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 37. Diagrama de proceso, programación mensual de mantenimiento RCM



Fuente: Elaboración propia.

La inclusión de los formatos y diagramas de ejecución del mantenimiento, junto con las programaciones semanal y mensual, proporciona una estructura sólida y coherente para la gestión del mantenimiento de la maquinaria. Estos instrumentos no solo estandarizan los procedimientos y aseguran la consistencia en la aplicación de las tareas de mantenimiento, sino que también facilitan el seguimiento y la evaluación continua de las intervenciones realizadas. Además, estas herramientas permiten una planificación más efectiva y una utilización óptima de los recursos disponibles, asegurando que las cosechadoras operen a su máxima capacidad durante toda la zafra. En resumen, la adopción de estos procedimientos sistematizados y bien documentados es un paso crucial hacia la optimización del mantenimiento y la sostenibilidad operativa de los ingenios azucareros.

## **INVERSIÓN PARA EL PROYECTO Y FLUJO OPERATIVO**

### **Costeo ABC para Inversión**

#### **Estudio de Factibilidad**

Para el desarrollo del coste de las actividades se implementará la técnica de costeo ABC.

El costeo ABC (Activity-Based Costing) es una metodología que asigna los costos indirectos y directos a las actividades que los generan, permitiendo una asignación más precisa de los costos a productos o servicios finales. Este enfoque se basa en el hecho de que las actividades consumen recursos y, por lo tanto, los productos o servicios deben absorber el costo en función de su uso de esas actividades. A continuación, se explican los pasos aplicados a este proceso:

#### **1. Determinar los recursos**

Identificar los recursos necesarios para llevar a cabo las actividades en las diferentes fases del plan de mantenimiento (software, insumos de oficina, equipos, personal, etc.).

## **2. Identificar las actividades**

Se detallan las actividades que componen cada fase (recolección de información, procesamiento, análisis, etc.).

## **3. Identificar los elementos de costos de las actividades**

Para cada actividad, se determinan los costos asociados (uso de software, materiales de oficina, equipos, honorarios del personal, viáticos).

## **4. Determinar los generadores de costos**

Definir las bases o conductores que distribuyen los costos a las actividades, tales como horas de trabajo, horas de uso de equipos, materiales consumidos, viajes necesarios, etc.

## **5. Asignar los costos a las actividades**

Los recursos identificados se asignan a las actividades en función de los generadores de costos. Por ejemplo, los costos de software se distribuyen según el número de horas de uso, los costos de personal según las horas trabajadas.

## **6. Asignar los costos de las actividades a los materiales y al producto**

Los costos de cada actividad se asignan a los objetos de costos (en este caso, las fases del plan de mantenimiento) para obtener un valor acumulado por fase.

## **7. Asignar los costos directos a los productos**

Finalmente, se distribuyen los costos directos (materiales, insumos, viáticos, etc.) a los productos finales (el plan de mantenimiento en sus diferentes fases) para determinar el costo total de implementar el plan en cada una de sus fases.

## **Desarrollo**

**a) Determinar el recurso:**

A continuación, se identifican todos los recursos necesarios para llevar a cabo cada actividad en las fases del plan de mantenimiento.:

- ✓ Software: Herramientas digitales para análisis de datos y AMEF.
- ✓ Insumos de oficina: Papelería, lapiceros, lápices, impresoras.
- ✓ Equipos: Computadoras, conexión a internet.
- ✓ Personal: Especialistas, técnicos y analistas involucrados en las fases.
- ✓ Viáticos: Costos asociados con traslados, alimentación, etc.

**b) Identificar las actividades:**

Las actividades son los pasos clave dentro de cada fase del plan. En este caso, para las tres fases:

**FASE 1: Valoración de los sistemas críticos.**

- ✓ Recolección y de información.
- ✓ Procesamiento de la información.
- ✓ Análisis de la información.
- ✓ Selección de elementos críticos.

**FASE 2: Aplicación de AMEF.**

- ✓ Preparación de formatos (revisar este título y buscar uno más técnico).
- ✓ Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group).
- ✓ Llenado de formatos.
- ✓ Clasificación por prioridad de los Modos de Falla Críticos.

**FASE 3: Construcción de Plan de Mantenimiento.**

**Elaboración de RCM**

- ✓ Preparación de formatos (revisar este título y buscar uno más técnico).
- ✓ Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group).

- ✓ Llenado de formatos.
- ✓ (Hay que explicar que las soluciones que resulten de RCM, deben ser costeadas como propuestas individuales) Ahorita el costo es solamente para realizar los pasos del desarrollo del AMEF y plan RCM.
- ✓ Podemos costear solo una tarea para definir cómo se debe realizar el procedimiento a seguir para implementar todas las actividades.

### **Elaboración de Manuales de Funciones**

- ✓ Preparación de formatos.
- ✓ Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group).
- ✓ Llenado de formatos.

### **Elaboración del plan de Capacitación**

- ✓ Aplicar un diagnóstico de necesidades de capacitación.
- ✓ Selección de temas de capacitación/necesidades de capacitación.
- ✓ Realizar la planificación.
- ✓ Selección y contratación del capacitador técnico.
- ✓ Ejecución del plan de capacitación.

### **Evaluación de Riesgos**

- ✓ Identificación de riesgos en la operación de cosecha.
- ✓ Desarrollar la matriz de riesgos (Identificación, evaluación, establecimiento de medidas de control)
- ✓ Priorización y realización de plan de mejora.

## **Comunicación**

- ✓ Identificar los puestos involucrados en la ejecución de planes con base RCM.
- ✓ Elaboración de diagramas de comunicación.
- ✓ Elaboración de formatos y diagramas de procedimientos.
- ✓ Divulgación de formatos y diagramas.

### **c) Identificar los elementos de costos de las actividades:**

Para este caso se consideran los siguientes elementos o conductores de costos.

- ✓ Horas de uso de software.
- ✓ Cantidad de insumos de oficina (papel, tinta, etc.).
- ✓ Tiempo de uso de los equipos (computadoras, impresoras).
- ✓ Horas de trabajo del personal.
- ✓ Gasto en viáticos para desplazamiento.

### **d) Determinación de los generadores de costos:**

Los generadores de costos son las bases que definen cómo se distribuyen los recursos en las actividades.

- ✓ Tiempo de uso del software (número de horas de uso).
- ✓ Cantidad de hojas impresas.
- ✓ Horas de trabajo del personal asignado.
- ✓ Número de viajes realizados o distancias recorridas (para viáticos).

### **e) Asignar los costos a las actividades:**

Se procede a aplicar los costos de cada recurso a las actividades específicas.

✓ **Costos asociados al uso de softwares**

Para poder asignar este costo, se ha considerado el costo de la licencia principalmente de office, a la cual se le ha asignado un valor de \$70.00 mensuales. Teniendo esta consideración se presenta el cálculo de los costos asociados.

*Tabla 19. Costos asociados al software*

Generalidades			Software		
Fase	Sub Fase	Actividad	Horas de uso	Costo/hora	Total
<b>FASE 1: Valoración de los sistemas críticos.</b>		Recolección de información	22	\$ 0.34	\$ 7.50
		Procesamiento de la información	8	\$ 0.34	\$ 2.73
		Análisis de la información	10	\$ 0.34	\$ 3.41
		Selección de elementos críticos	4	\$ 0.34	\$ 1.36
<b>FASE 2: Aplicación de AMEF.</b>		Diseño de plantillas técnicas (Preparación de formatos)	9	\$ 0.34	\$ 3.07
		Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group)	2	\$ 0.34	\$ 0.68
		Llenado de formatos	12	\$ 0.34	\$ 4.09
		Clasificación por prioridad de los Modos de Falla Críticos	8	\$ 0.34	\$ 2.73
<b>FASE 3: Construcción de Plan de Mantenimiento</b>	<b>Elaboración de RCM</b>	Diseño de plantillas técnicas (Preparación de formatos)	6	\$ 0.34	\$ 2.05
		Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group)	2	\$ 0.34	\$ 0.68
		Llenado de formatos	7	\$ 0.34	\$ 2.39
		Explicación: Costear las soluciones	8	\$ 0.34	\$ 2.73

	resultantes del RCM como propuestas individuales			
	Definir procedimiento para implementar todas las actividades	9	\$ 0.34	\$ 3.07
<b>Elaboración de Manuales de Funciones</b>	Diseño de plantillas técnicas (Preparación de formatos)	8	\$ 0.34	\$ 2.73
	Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group)	2	\$ 0.34	\$ 0.68
	Llenado de formatos	12	\$ 0.34	\$ 4.09
<b>Elaboración del plan de Capacitación</b>	Diagnóstico de necesidades de capacitación	6	\$ 0.34	\$ 2.05
	Selección de temas/necesidades de capacitación	4	\$ 0.34	\$ 1.36
	Planificación de la capacitación	4	\$ 0.34	\$ 1.36
	Selección y contratación del capacitador técnico	4	\$ 0.34	\$ 1.36
	Ejecución del plan de capacitación	22	\$ 0.34	\$ 7.50
<b>Evaluación de Riesgos</b>	Identificación de riesgos en la operación de cosecha	2	\$ 0.34	\$ 0.68
	Desarrollo de la matriz de riesgos (Identificación, evaluación, medidas de control)	8	\$ 0.34	\$ 2.73
	Priorización y ejecución del plan de mejora	5	\$ 0.34	\$ 1.70
<b>Comunicación</b>	Identificación de puestos	4	\$ 0.34	\$ 1.36

	involucrados en la ejecución del plan RCM			
	Elaboración de diagramas de comunicación	6	\$ 0.34	\$ 2.05
	Elaboración de plantillas técnicas y diagramas de procedimientos (preparación de formatos)	7	\$ 0.34	\$ 2.39
	Divulgación de plantillas y diagramas	8	\$ 0.34	\$ 2.73
<b>Total</b>				<b>\$ 71.25</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

✓ **Costos asociados al uso de los insumos de oficina**

En cuanto a los costos de oficina se tienen los relacionados a impresiones, papelería y útiles. En la siguiente tabla se presentan a detalle estos.

*Tabla 20. Costos asociados a los insumos de oficina*

Generalidades			Insumos de oficina				Costo total
			Impresiones		Otros insumos		
Fase	Sub Fase	Actividad	Cantidad de impresiones	Costo/impresión	Total	Costo	
FASE 1: Valoración de los sistemas críticos.		Recolección de información	15	\$ 0.15	\$ 2.25	\$ 2.00	\$ 4.25
		Procesamiento de la información	4	\$ 0.15	\$ 0.60	\$ 1.50	\$ 2.10
		Análisis de la información	6	\$ 0.15	\$ 0.90	\$ 2.50	\$ 3.40
		Selección de elementos críticos	10	\$ 0.15	\$ 1.50	\$ 2.00	\$ 3.50
FASE 2: Aplicación de AMEF.		Diseño de plantillas técnicas (Preparación de formatos)	25	\$ 0.15	\$ 3.75	\$ 4.00	\$ 7.75
		Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group)	15	\$ 0.15	\$ 2.25	\$ 5.00	\$ 7.25
		Llenado de formatos	25	\$ 0.15	\$ 3.75	\$ 1.00	\$ 4.75

		Clasificación por prioridad de los Modos de Falla Críticos	6	\$ 0.15	\$ 0.90	\$ 1.00	\$ 1.90
FASE 3: Construcción de Plan de Mantenimiento	Elaboración de RCM.	Diseño de plantillas técnicas (Preparación de formatos)	9	\$ 0.15	\$ 1.35	\$ 1.00	\$ 2.35
		Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group)	15	\$ 0.15	\$ 2.25	\$ 5.00	\$ 7.25
		Llenado de formatos	10	\$ 0.15	\$ 1.50	\$ 4.00	\$ 5.50
		Explicación: Costear las soluciones resultantes del RCM como propuestas individuales	4	\$ 0.15	\$ 0.60	\$ 4.00	\$ 4.60
		Definir procedimiento para implementar todas las actividades	12	\$ 0.15	\$ 1.80	\$ 6.00	\$ 7.80
	Elaboración de Manuales de Funciones.	Diseño de plantillas técnicas (Preparación de formatos)	9	\$ 0.15	\$ 1.35	\$ 1.50	\$ 2.85
		Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group)	15	\$ 0.15	\$ 2.25	\$ 2.00	\$ 4.25
		Llenado de formatos	10	\$ 0.15	\$ 1.50	\$ 4.00	\$ 5.50
	Elaboración del plan de Capacitación	Diagnóstico de necesidades de capacitación	12	\$ 0.15	\$ 1.80	\$ 4.00	\$ 5.80
		Selección de temas/necesidades de capacitación	6	\$ 0.15	\$ 0.90	\$ 3.00	\$ 3.90
		Planificación de la capacitación	15	\$ 0.15	\$ 2.25	\$ 16.00	\$ 18.25
		Selección y contratación del capacitador técnico	20	\$ 0.15	\$ 3.00	\$ 15.00	\$ 18.00
		Ejecución del plan de capacitación	50	\$ 0.15	\$ 7.50	\$ 20.00	\$ 27.50
	Evaluación de Riesgos.	Identificación de riesgos en la operación de cosecha	12	\$ 0.15	\$ 1.80	\$ 4.00	\$ 5.80
		Desarrollo de la matriz de riesgos (Identificación, evaluación, medidas de control)	4	\$ 0.15	\$ 0.60	\$ 4.00	\$ 4.60
		Priorización y ejecución del plan de mejora	5	\$ 0.15	\$ 0.75	\$ 5.00	\$ 5.75

Comunicación.	Identificación de puestos involucrados en la ejecución del plan RCM	6	\$ 0.15	\$ 0.90	\$ 4.00	\$ 4.90
	Elaboración de diagramas de comunicación	15	\$ 0.15	\$ 2.25	\$ 5.00	\$ 7.25
	Elaboración de plantillas técnicas y diagramas de procedimientos (preparación de formatos)	6	\$ 0.15	\$ 0.90	\$ 2.00	\$ 2.90
	Divulgación de plantillas y diagramas	25	\$ 0.15	\$ 3.75	\$ 10.00	\$ 13.75
<b>Total</b>				<b>\$ 54.90</b>	<b>\$ 138.50</b>	<b>\$ 193.40</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

#### ✓ Costos asociados al uso de los equipos

El principal equipo que se utilizó como herramienta para el desarrollo del plan de mantenimiento fue la computadora, en la siguiente tabla se describen los costos asociados en cuanto a la utilización del equipo. En ella se destaca principalmente el consumo eléctrico y otros costos como la depreciación, internet, etc.

*Tabla 21. Costos asociados al uso de los equipos*

Generalidades			Utilización del equipo				Costo total
			Electricidad		Otros costos		
Fase	Sub Fase	Actividad	Horas de utilización de los equipos	Costo/Hora	Total	Costo	
FASE 1: Valoración de los sistemas críticos.		Recolección de información	88	\$ 0.13	\$ 11.44	\$ 2.63	\$ 14.07
		Procesamiento de la información	32	\$ 0.13	\$ 4.16	\$ 0.96	\$ 5.12
		Análisis de la información	40	\$ 0.13	\$ 5.20	\$ 1.20	\$ 6.40
		Selección de elementos críticos	16	\$ 0.13	\$ 2.08	\$ 0.48	\$ 2.56
FASE 2: Aplicación de AMEF.		Diseño de plantillas técnicas (Preparación de formatos)	36	\$ 0.13	\$ 4.68	\$ 1.08	\$ 5.76
		Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group)	8	\$ 0.13	\$ 1.04	\$ 0.24	\$ 1.28
		Llenado de formatos	48	\$ 0.13	\$ 6.24	\$ 1.44	\$ 7.68

		Clasificación por prioridad de los Modos de Falla Críticos	32	\$ 0.13	\$ 4.16	\$ 0.96	\$ 5.12
FASE 3: Construcción de Plan de Mantenimiento.	Elaboración de RCM.	Diseño de plantillas técnicas (Preparación de formatos)	24	\$ 0.13	\$ 3.12	\$ 0.72	\$ 3.84
		Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group)	8	\$ 0.13	\$ 1.04	\$ 0.24	\$ 1.28
		Llenado de formatos	28	\$ 0.13	\$ 3.64	\$ 0.84	\$ 4.48
		Explicación: Costear las soluciones resultantes del RCM como propuestas individuales	32	\$ 0.13	\$ 4.16	\$ 0.96	\$ 5.12
		Definir procedimiento para implementar todas las actividades	36	\$ 0.13	\$ 4.68	\$ 1.08	\$ 5.76
	Elaboración de Manuales de Funciones.	Diseño de plantillas técnicas (Preparación de formatos)	32	\$ 0.13	\$ 4.16	\$ 0.96	\$ 5.12
		Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group)	8	\$ 0.13	\$ 1.04	\$ 0.24	\$ 1.28
		Llenado de formatos	48	\$ 0.13	\$ 6.24	\$ 1.44	\$ 7.68
	Elaboración del plan de Capacitación	Diagnóstico de necesidades de capacitación	24	\$ 0.13	\$ 3.12	\$ 0.72	\$ 3.84
		Selección de temas/necesidades de capacitación	16	\$ 0.13	\$ 2.08	\$ 0.48	\$ 2.56
		Planificación de la capacitación	16	\$ 0.13	\$ 2.08	\$ 0.48	\$ 2.56
		Selección y contratación del capacitador técnico	16	\$ 0.13	\$ 2.08	\$ 0.48	\$ 2.56
		Ejecución del plan de capacitación	88	\$ 0.13	\$ 11.44	\$ 2.63	\$ 14.07
	Evaluación de Riesgos.	Identificación de riesgos en la operación de cosecha	8	\$ 0.13	\$ 1.04	\$ 0.24	\$ 1.28
		Desarrollo de la matriz de riesgos (Identificación, evaluación, medidas de control)	32	\$ 0.13	\$ 4.16	\$ 0.96	\$ 5.12
		Priorización y ejecución del plan de mejora	20	\$ 0.13	\$ 2.60	\$ 0.60	\$ 3.20
	Comunicación.	Identificación de puestos involucrados en la ejecución del plan RCM	16	\$ 0.13	\$ 2.08	\$ 0.48	\$ 2.56
		Elaboración de diagramas de comunicación	24	\$ 0.13	\$ 3.12	\$ 0.72	\$ 3.84
		Elaboración de plantillas técnicas y diagramas de procedimientos (preparación de formatos)	28	\$ 0.13	\$ 3.64	\$ 0.84	\$ 4.48
		Divulgación de plantillas y diagramas	32	\$ 0.13	\$ 4.16	\$ 0.96	\$ 5.12
<b>Total</b>				<b>\$ 108.68</b>	<b>\$ 25.00</b>	<b>\$ 133.68</b>	

Fuente: Elaboración Propia

✓ **Costos asociados al personal**

### **Costo de mano de obra directa**

Para el caso del costeo del personal, se plantea un sueldo mensual de \$1,200 más viáticos. Para obtener el costo por hora se dedujo bajo el concepto del séptimo.

- ✓ Salario mensual: \$1,500.
- ✓ Jornada laboral semanal: En El Salvador, la ley establece una jornada máxima de 44 horas a la semana.
- ✓ Días laborales al mes: Lo tomaremos considerando 30 días en un mes, con 4 semanas de trabajo, lo que incluye el Séptimo (día de descanso remunerado).
- ✓ Cálculo de la hora de trabajo:
  - Horas de trabajo por semana: 44 horas.
  - Número de semanas en un mes: 4.33 (promedio mensual).
  - Horas de trabajo al mes:  $44 \text{ horas/semana} \times 4.33 \text{ semanas/mes} = 190.52$  horas/mes.
- ✓ Cálculo del costo por hora:
  - Costo de mano de obra por hora:

$$\text{Salario mensual} \div \text{Horas trabajadas en el mes: } \$1,500 \div 190.52 = \mathbf{\$7.87 \text{ por}}$$

### **hora (aproximadamente)**

Este sería el costo de la mano de obra por hora, ya tomando en cuenta el séptimo día de descanso remunerado.

### ✓ **Costo de mano de obra indirecta**

En cuanto a los costos indirectos asociados a la mano de obra, asumiremos el 15% del costo de mano de obra directa.

Considerando lo anterior se plantea el cálculo del costo del personal.

Tabla 22. Costos asociados al personal directo-indirecto

Generalidades			Personal				
Fase	Sub Fase	Actividad	Personal directo		Personal indirecto	Costo total	
			Horas Hombre	Costo/Hora	Total		Costo
FASE 1: Valoración de los sistemas críticos.		Recolección de información	88	\$ 7.87	\$ 692.56	\$ 103.88	\$ 796.44
		Procesamiento de la información	32	\$ 7.87	\$ 251.84	\$ 37.78	\$ 289.62
		Análisis de la información	40	\$ 7.87	\$ 314.80	\$ 47.22	\$ 362.02
		Selección de elementos críticos	16	\$ 7.87	\$ 125.92	\$ 18.89	\$ 144.81
FASE 2: Aplicación de AMEF.		Diseño de plantillas técnicas (Preparación de formatos)	36	\$ 7.87	\$ 283.32	\$ 42.50	\$ 325.82
		Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group)	8	\$ 7.87	\$ 62.96	\$ 9.44	\$ 72.40
		Llenado de formatos	48	\$ 7.87	\$ 377.76	\$ 56.66	\$ 434.42
		Clasificación por prioridad de los Modos de Falla Críticos	32	\$ 7.87	\$ 251.84	\$ 37.78	\$ 289.62
FASE 3: Construcción de Plan de Mantenimiento.	Elaboración de RCM.	Diseño de plantillas técnicas (Preparación de formatos)	24	\$ 7.87	\$ 188.88	\$ 28.33	\$ 217.21
		Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group)	8	\$ 7.87	\$ 62.96	\$ 9.44	\$ 72.40
		Llenado de formatos	28	\$ 7.87	\$ 220.36	\$ 33.05	\$ 253.41
		Explicación: Costear las soluciones resultantes del RCM como propuestas individuales	32	\$ 7.87	\$ 251.84	\$ 37.78	\$ 289.62
		Definir procedimiento para implementar todas las actividades	36	\$ 7.87	\$ 283.32	\$ 42.50	\$ 325.82
	Elaboración de Manuales de Funciones.	Diseño de plantillas técnicas (Preparación de formatos)	32	\$ 7.87	\$ 251.84	\$ 37.78	\$ 289.62
		Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group)	8	\$ 7.87	\$ 62.96	\$ 9.44	\$ 72.40
		Llenado de formatos	48	\$ 7.87	\$ 377.76	\$ 56.66	\$ 434.42
	Elaboración del plan de Capacitación	Diagnóstico de necesidades de capacitación	24	\$ 7.87	\$ 188.88	\$ 28.33	\$ 217.21
		Selección de temas/necesidades de capacitación	16	\$ 7.87	\$ 125.92	\$ 18.89	\$ 144.81
		Planificación de la capacitación	16	\$ 7.87	\$ 125.92	\$ 18.89	\$ 144.81
		Selección y contratación del capacitador técnico	16	\$ 7.87	\$ 125.92	\$ 18.89	\$ 144.81

	Ejecución del plan de capacitación	88	\$ 7.87	\$ 692.56	\$ 103.88	\$ 796.44
Evaluación de Riesgos.	Identificación de riesgos en la operación de cosecha	8	\$ 7.87	\$ 62.96	\$ 9.44	\$ 72.40
	Desarrollo de la matriz de riesgos (Identificación, evaluación, medidas de control)	32	\$ 7.87	\$ 251.84	\$ 37.78	\$ 289.62
	Priorización y ejecución del plan de mejora	20	\$ 7.87	\$ 157.40	\$ 23.61	\$ 181.01
Comunicación.	Identificación de puestos involucrados en la ejecución del plan RCM	16	\$ 7.87	\$ 125.92	\$ 18.89	\$ 144.81
	Elaboración de diagramas de comunicación	24	\$ 7.87	\$ 188.88	\$ 28.33	\$ 217.21
	Elaboración de plantillas técnicas y diagramas de procedimientos (preparación de formatos)	28	\$ 7.87	\$ 220.36	\$ 33.05	\$ 253.41
	Divulgación de plantillas y diagramas	32	\$ 7.87	\$ 251.84	\$ 37.78	\$ 289.62
<b>Total</b>				<b>\$ 6,579.32</b>	<b>\$ 986.90</b>	<b>\$ 7,566.22</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

### ✓ Costos asociados a los viáticos

En cuanto a los costos relacionados a los viáticos se establecen principalmente en función de los traslados, alimentos y otros. A continuación, se presenta la tabla resumen de estos.

*Tabla 23. Costos asociados a los viáticos*

Generalidades			Viáticos				Costo total
			Traslados		Alimentación y otros.		
Fase	Sub Fase	Actividad	Cantidad de traslados	Costo/Traslado	Total	Costo	
FASE 1: Valoración de los sistemas críticos.		Recolección de información	6	\$ 12.00	\$ 72.00	\$ 35.00	\$ 107.00
		Procesamiento de la información	3	\$ 10.00	\$ 30.00	\$ 10.00	\$ 40.00
		Análisis de la información	3	\$ 10.00	\$ 30.00	\$ 14.00	\$ 44.00
		Selección de elementos críticos	2	\$ 8.00	\$ 16.00	\$ 12.00	\$ 28.00

FASE 2: Aplicación de AMEF.		Diseño de plantillas técnicas (Preparación de formatos)	2	\$ 10.00	\$ 20.00	\$ 10.00	\$ 30.00
		Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group)	3	\$ 12.00	\$ 36.00	\$ 30.00	\$ 66.00
		Llenado de formatos	3	\$ 7.00	\$ 21.00	\$ 12.00	\$ 33.00
		Clasificación por prioridad de los Modos de Falla Críticos	2	\$ 12.00	\$ 24.00	\$ 10.00	\$ 34.00
FASE 3: Construcción de Plan de Mantenimiento.	Elaboración de RCM.	Diseño de plantillas técnicas (Preparación de formatos)	3	\$ 7.00	\$ 21.00	\$ 10.00	\$ 31.00
		Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group)	3	\$ 12.00	\$ 36.00	\$ 35.00	\$ 71.00
		Llenado de formatos	2	\$ 7.00	\$ 14.00	\$ 10.00	\$ 24.00
		Explicación: Costear las soluciones resultantes del RCM como propuestas individuales	1	\$ 10.00	\$ 10.00	\$ 10.00	\$ 20.00
		Definir procedimiento para implementar todas las actividades	2	\$ 7.00	\$ 14.00	\$ 10.00	\$ 24.00
	Elaboración de Manuales de Funciones.	Diseño de plantillas técnicas (Preparación de formatos)	2	\$ 7.00	\$ 14.00	\$ 12.00	\$ 26.00
		Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group)	1	\$ 7.00	\$ 7.00	\$ 35.00	\$ 42.00
		Llenado de formatos	3	\$ 10.00	\$ 30.00	\$ 10.00	\$ 40.00
	Elaboración del plan de Capacitación	Diagnóstico de necesidades de capacitación	2	\$ 12.00	\$ 24.00	\$ 12.00	\$ 36.00
		Selección de temas/necesidades de capacitación	3	\$ 7.00	\$ 21.00	\$ 10.00	\$ 31.00
		Planificación de la capacitación	2	\$ 7.00	\$ 14.00	\$ 10.00	\$ 24.00
		Selección y contratación del capacitador técnico	1	\$ 10.00	\$ 10.00	\$ 8.00	\$ 18.00
		Ejecución del plan de capacitación	7	\$ 10.00	\$ 70.00	\$ 10.50	\$ 80.50
	Evaluación de Riesgos.	Identificación de riesgos en la operación de cosecha	2	\$ 12.00	\$ 24.00	\$ 8.00	\$ 32.00
		Desarrollo de la matriz de riesgos (Identificación, evaluación, medidas de control)	2	\$ 7.00	\$ 14.00	\$ 20.00	\$ 34.00
		Priorización y ejecución del plan de mejora	2	\$ 7.00	\$ 14.00	\$ 8.00	\$ 22.00

	Identificación de puestos involucrados en la ejecución del plan RCM	3	\$ 7.00	\$ 21.00	\$ 10.00	\$ 31.00
	Elaboración de diagramas de comunicación	2	\$ 7.00	\$ 14.00	\$ 10.00	\$ 24.00
	Elaboración de plantillas técnicas y diagramas de procedimientos (preparación de formatos)	3	\$ 8.00	\$ 24.00	\$ 18.00	\$ 42.00
	Divulgación de plantillas y diagramas	2	\$ 12.00	\$ 24.00	\$ 20.00	\$ 44.00
<b>Total</b>				<b>\$ 669.00</b>	<b>\$ 409.50</b>	<b>\$ 1,078.50</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

### ✓ Resumen de costos asociados a las actividades

A continuación, se presenta el resumen de los costos por cada una de las actividades.

*Tabla 24. Resumen de los costos*

Generalidades			Resumen de costos por actividad					
Fase	Sub Fase	Actividad	Software	Insumos de oficina	Utilización del equipo	Personal	Viáticos	Total
FASE 1: Valoración de los sistemas críticos.		Recolección de información	\$ 7.50	\$ 4.25	\$ 14.07	\$ 796.44	\$ 107.00	\$ 929.27
		Procesamiento de la información	\$ 2.73	\$ 2.10	\$ 5.12	\$ 289.62	\$ 40.00	\$ 339.56
		Análisis de la información	\$ 3.41	\$ 3.40	\$ 6.40	\$ 362.02	\$ 44.00	\$ 419.23
		Selección de elementos críticos	\$ 1.36	\$ 3.50	\$ 2.56	\$ 144.81	\$ 28.00	\$ 180.23
FASE 2: Aplicación de AMEF.		Diseño de plantillas técnicas (Preparación de formatos)	\$ 3.07	\$ 7.75	\$ 5.76	\$ 325.82	\$ 30.00	\$ 372.39
		Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group)	\$ 0.68	\$ 7.25	\$ 1.28	\$ 72.40	\$ 66.00	\$ 147.62
		Llenado de formatos	\$ 4.09	\$ 4.75	\$ 7.68	\$ 434.42	\$ 33.00	\$ 483.94
		Clasificación por prioridad de los Modos de Falla Críticos	\$ 2.73	\$ 1.90	\$ 5.12	\$ 289.62	\$ 34.00	\$ 333.36
FASE 3: Construcción de Plan de Mantenimiento.	Elaboración de RCM.	Diseño de plantillas técnicas (Preparación de formatos)	\$ 2.05	\$ 2.35	\$ 3.84	\$ 217.21	\$ 31.00	\$ 256.45

	Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group)	\$ 0.68	\$ 7.25	\$ 1.28	\$ 72.40	\$ 71.00	\$ <b>152.62</b>
	Llenado de formatos	\$ 2.39	\$ 5.50	\$ 4.48	\$ 253.41	\$ 24.00	\$ <b>289.78</b>
	Explicación: Costear las soluciones resultantes del RCM como propuestas individuales	\$ 2.73	\$ 4.60	\$ 5.12	\$ 289.62	\$ 20.00	\$ <b>322.06</b>
	Definir procedimiento para implementar todas las actividades	\$ 3.07	\$ 7.80	\$ 5.76	\$ 325.82	\$ 24.00	\$ <b>366.44</b>
Elaboración de Manuales de Funciones.	Diseño de plantillas técnicas (Preparación de formatos)	\$ 2.73	\$ 2.85	\$ 5.12	\$ 289.62	\$ 26.00	\$ <b>326.31</b>
	Aplicación de técnica de análisis con experto (Focus Group)	\$ 0.68	\$ 4.25	\$ 1.28	\$ 72.40	\$ 42.00	\$ <b>120.62</b>
	Llenado de formatos	\$ 4.09	\$ 5.50	\$ 7.68	\$ 434.42	\$ 40.00	\$ <b>491.69</b>
Elaboración del plan de Capacitación	Diagnóstico de necesidades de capacitación	\$ 2.05	\$ 5.80	\$ 3.84	\$ 217.21	\$ 36.00	\$ <b>264.90</b>
	Selección de temas/necesidades de capacitación	\$ 1.36	\$ 3.90	\$ 2.56	\$ 144.81	\$ 31.00	\$ <b>183.63</b>
	Planificación de la capacitación	\$ 1.36	\$ 18.25	\$ 2.56	\$ 144.81	\$ 24.00	\$ <b>190.98</b>
	Selección y contratación del capacitador técnico	\$ 1.36	\$ 18.00	\$ 2.56	\$ 144.81	\$ 18.00	\$ <b>184.73</b>
	Ejecución del plan de capacitación	\$ 7.50	\$ 27.50	\$ 14.07	\$ 796.44	\$ 80.50	\$ <b>926.02</b>
Evaluación de Riesgos.	Identificación de riesgos en la operación de cosecha	\$ 0.68	\$ 5.80	\$ 1.28	\$ 72.40	\$ 32.00	\$ <b>112.17</b>
	Desarrollo de la matriz de riesgos (Identificación, evaluación, medidas de control)	\$ 2.73	\$ 4.60	\$ 5.12	\$ 289.62	\$ 34.00	\$ <b>336.06</b>
	Priorización y ejecución del plan de mejora	\$ 1.70	\$ 5.75	\$ 3.20	\$ 181.01	\$ 22.00	\$ <b>213.66</b>
Comunicación.	Identificación de puestos involucrados en la ejecución del plan RCM	\$ 1.36	\$ 4.90	\$ 2.56	\$ 144.81	\$ 31.00	\$ <b>184.63</b>

	Elaboración de diagramas de comunicación	\$ 2.05	\$ 7.25	\$ 3.84	\$ 217.21	\$ 24.00	\$ 254.35
	Elaboración de plantillas técnicas y diagramas de procedimientos (preparación de formatos)	\$ 2.39	\$ 2.90	\$ 4.48	\$ 253.41	\$ 42.00	\$ 305.18
	Divulgación de plantillas y diagramas	\$ 2.73	\$ 13.75	\$ 5.12	\$ 289.62	\$ 44.00	\$ 355.21
<b>Total</b>		<b>\$ 71.25</b>	<b>\$ 193.40</b>	<b>\$ 133.68</b>	<b>\$ 7,566.22</b>	<b>\$ 1,078.50</b>	<b>\$ 9,043.04</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

#### **f) Asignación de los costos de las actividades a los materiales y al producto**

En este caso los productos que se tienen son las distintas fases que componen el plan de mantenimiento formulado.

*Tabla 25. Costos asociados a los productos (Fases)*

Fase	Sub Fase	Software	Insumos de oficina	Utilización del equipo	Personal	Viáticos	Total
FASE 1: Valoración de los sistemas críticos		\$ 15.00	\$ 13.25	\$ 28.14	\$ 1,592.89	\$ 219.00	\$ 1,868.28
FASE 2: Aplicación de AMEF		\$ 10.57	\$ 21.65	\$ 19.83	\$ 1,122.26	\$ 163.00	\$ 1,337.31
FASE 3: Construcción de Plan de Mantenimiento		\$ 45.68	\$ 158.50	\$ 85.71	\$ 4,851.07	\$ 696.50	\$ 5,837.46
	Elaboración de RCM	\$ 10.91	\$ 27.50	\$ 20.47	\$ 1,158.46	\$ 170.00	
	Elaboración de Manuales de Funciones	\$ 7.50	\$ 12.60	\$ 14.07	\$ 796.44	\$ 108.00	
	Elaboración del plan de Capacitación	\$ 13.64	\$ 73.45	\$ 25.58	\$ 1,448.08	\$ 189.50	
	Evaluación de Riesgos	\$ 5.11	\$ 16.15	\$ 9.59	\$ 543.03	\$ 88.00	
	Comunicación	\$ 8.52	\$ 28.80	\$ 15.99	\$ 905.05	\$ 141.00	
<b>Total</b>							<b>\$ 9,043.04</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

#### **g) Costo de la formulación del plan**

Considerando los resultados de los pasos anteriores se tiene que el plan de mantenimiento tiene un costo de formulación de **\$ 9,043.04**

### **Flujos operativos**

Para poder establecer los flujos operativos, se desarrollará un análisis para un periodo anual de la situación antes y la proyección después de implementar el plan. Se tomará en consideración la diferencia del antes y después y este concepto se considerará como ahorro y será un ingreso para la evaluación económica. Los datos presentados a continuación fueron proporcionados por un ingenio del sector.

### **Análisis de ahorros**

#### **a) Insumos y repuestos**

La presente tabla refleja los costos actuales en insumos y repuestos asociados a los sistemas críticos de las cosechadoras durante el período Z22/23. Estos valores muestran una tendencia de gasto que podría reducirse significativamente con la implementación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Al aplicar este plan, las fallas en los sistemas se reducirán, lo que no solo optimizará la disponibilidad de la maquinaria, sino que también minimizará el uso de repuestos e insumos. Como resultado, se espera una disminución considerable en los costos de operación a largo plazo, mejorando la eficiencia y generando ahorros tangibles para la operación.

Tabla 26. Resumen de costo de insumos y repuestos actualmente

Suma de Valor total	Periodo	TIPO DE COSTO		
	Z22/23			Total Z22/23
SISTEMA	INSUMO	REPUESTO		
BASE CORTADORA	\$ 17,300.09	\$ 3,425.05		\$ 20,725.14
ELÉCTRICO		\$ 1,505.38		\$ 1,505.38
EXTRACTOR PRIMARIO	\$ 7,376.64	\$ 228.37		\$ 7,605.01
HIDRAULICO	\$ 18,646.69	\$ 10,906.18		\$ 29,552.87
RODAJE		\$ 5,125.43		\$ 5,125.43
TROZADOR	\$ 29,789.25	\$ 8,634.72		\$ 38,423.97
<b>Total general</b>	<b>\$ 73,112.67</b>	<b>\$ 29,825.13</b>		<b>\$ 102,937.80</b>

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los datos presentados, los sistemas en los que se registra el mayor gasto en insumos y repuestos son la Base Cortadora y el Trozador, los cuales coinciden con los resultados del análisis de tiempos de paro y fallas realizado en la etapa anterior, que identificó estos dos como los sistemas críticos prioritarios. Los insumos para ambos sistemas representan los costos más elevados en comparación con el resto, lo que justifica su clasificación como prioritarios en el plan de mantenimiento. Sin embargo, es importante resaltar que el Sistema Hidráulico, aunque no es el más costoso en insumos, concentra un 11% del total de repuestos usados, lo cual también es un aspecto para atender. La implementación del plan de mantenimiento permitirá no solo una reducción en los costos de insumos y repuestos, sino también una mejora en la disponibilidad de la maquinaria, lo que se traducirá en un abastecimiento más sostenible de caña a lo largo de toda la zafra, reduciendo tiempos de inactividad y optimizando el proceso. }

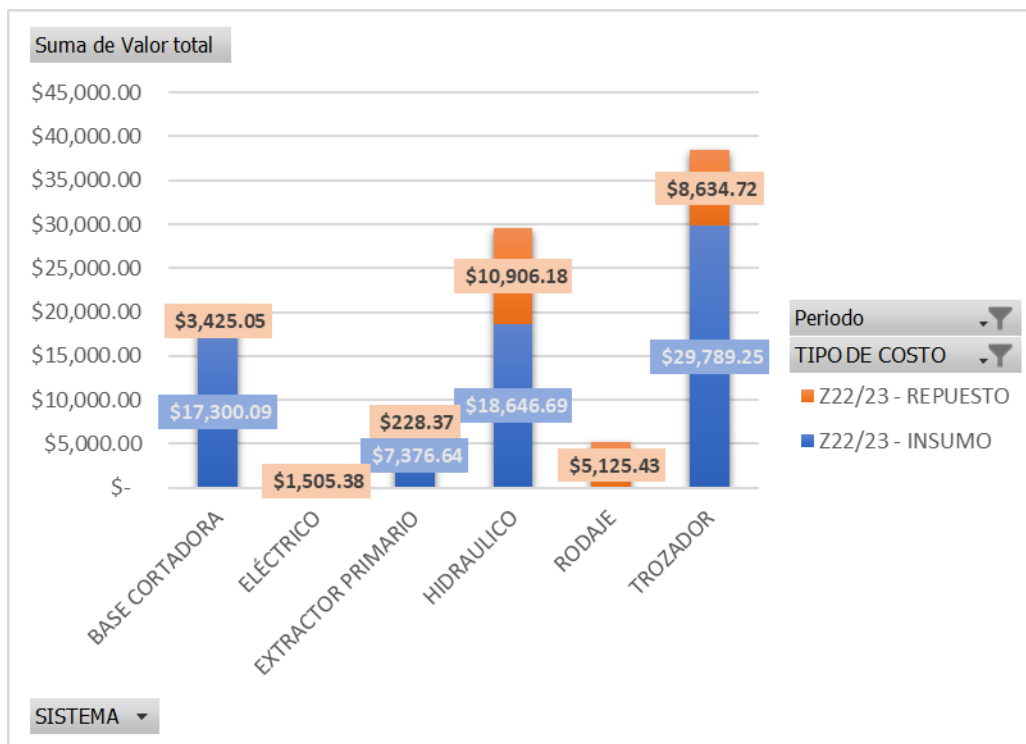
Se proyecta un ahorro de hasta el 20% anual sobre los costos de insumos y repuestos asociados a estos sistemas con la implementación del plan que busca mejorar la disponibilidad mecánica con enfoque preventivo.

Tabla 27. Resumen de ahorros anuales con el plan implementado

SISTEMA	INSUMO	REPUESTO	Total Z22/23	INSUMOS	REPUESTOS	TOTAL	Ahorro/Sistema
BASE CORTADORA	\$17,300.09	\$ 3,425.05	\$ 20,725.14	17%	3%	20%	\$ 5,181.28
ELÉCTRICO		\$ 1,505.38	\$ 1,505.38	0%	1%	1%	\$ 376.35
EXTRACTOR PRIMARIO	\$ 7,376.64	\$ 228.37	\$ 7,605.01	7%	0%	7%	\$ 1,901.25
HIDRAULICO	\$18,646.69	\$10,906.18	\$ 29,552.87	18%	11%	29%	\$ 7,388.22
RODAJE		\$ 5,125.43	\$ 5,125.43	0%	5%	5%	\$ 1,281.36
TROZADOR	\$29,789.25	\$ 8,634.72	\$ 38,423.97	29%	8%	37%	\$ 9,605.99
Total general	\$73,112.67	\$29,825.13	\$102,937.80	71%	29%	100%	\$ 25,734.45

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 11. Resumen de ahorros anuales con el plan implementado



Fuente: Elaboración propia.

## **b) Mano de Obra**

Para el análisis de mano de obra, se retomó el estudio que se hizo sobre la manta de fallas en la etapa de diagnóstico en la tabla 18 presentada en este documento, a partir del cual se identificaron los sistemas críticos que fueron sometidos al análisis AMEF. En cada uno de estos sistemas, se acumularon horas de paro significativas, reflejando no solo el impacto en la disponibilidad de la maquinaria, sino también el tiempo requerido de mano de obra para solventar dichas fallas. Los tiempos de inactividad que se presentan en los diferentes componentes críticos están directamente vinculados a la necesidad de intervención de personal calificado, como mecánicos, ayudantes, eléctricos y soldadores, quienes invierten largas horas en la reparación y mantenimiento de estos sistemas.

Tabla 28. Resumen de horas hombre invertidas por fallas de los sub sistema critico

SUB SISTEMA AFECTADO	Código del componente	Componente	Tiempo de paro	Mano de Obra Requerida	Mecánico	Ayudante de mecánico	Eléctrico	Llantero	Soldador	Total, Horas invertidas
CONJUNTO PICADOR	0-1	Cuchilla trozadora	945:41:00	Mecánico y Ayudante	1	1	0	0	0	1891:22:00
BASE CORTADORA	0-2	Fusible de base cortadora	403:35:00	Mecánico y Ayudante	1	1	0	0	0	807:10:00
SISTEMA HIDRÁULICO	0-3	Manguera hidráulica	305:18:00	Mecánico y Ayudante	1	1	0	0	0	610:36:00
SISTEMA HIDRÁULICO	0-4	Cilindro hidráulico	379:08:00	Mecánico y Ayudante	1	1	0	0	0	758:16:00
BASE CORTADORA	0-5	Cuchilla primaria	161:54:00	Mecánico y Ayudante	1	1	0	0	0	323:48:00
SISTEMA HIDRÁULICO	0-6	Válvula hidráulica	246:34:00	Mecánico y Ayudante	1	1	0	0	0	493:08:00
SISTEMA HIDRÁULICO	0-7	Motor hidráulico	224:08:00	Mecánico y Ayudante	1	1	0	0	0	448:16:00
RODAJE	0-8	Llanta	157:35:00	Llantero	0	0	0	1	0	157:35:00
SISTEMA ELÉCTRICO	0-9	Sensor	176:37:00	Eléctrico	0	0	1	0	0	176:37:00
SISTEMA ELÉCTRICO	0-10	Diagnóstico eléctrico	221:10:00	Eléctrico	0	0	1	0	0	221:10:00
EXTRACTOR PRIMARIO	0-11	Aspas	174:35:00	Mecánico y Ayudante y Soldador	1	1	0	0	1	523:45:00

CONJUNTO PICADOR	0-12	Embrague	163:22:00	Mecánico y Ayudante	1	1	0	0	0	326:44:00
BASE CORTADORA	0-13	Platos porta cuchillas de base cortadora	111:06:00	Mecánico y Ayudante	1	1	0	0	0	222:12:00
BASE CORTADORA	0-14	Punta de divisor	59:09:00	Soldador	1	0	0	0	1	118:18:00

*Fuente: Elaboración propia.*

La tabla a continuación muestra un análisis detallado de los costos de mano de obra asociados a las diferentes posiciones involucradas en la reparación y mantenimiento de las cosechadoras. Se incluyen los costos por hora, las horas invertidas por sistema o falla, y el total de costos en dólares para cada posición (ayudante, mecánico, eléctrico, llantero y soldador). Este análisis revela que, de las 205,150 horas invertidas en total, se pueden generar ahorros significativos mediante la optimización del mantenimiento.

*Tabla 29. Resumen de ahorro en costos de mano de obra con el plan propuesto*

<b>POSICIÓN</b>	<b>\$/Hr</b>	<b>Requerimientos /Sistema/Falla</b>	<b>Horas Invertidas</b>	<b>\$ Total MO</b>	<b>Ahorro</b>
AYUDANTE	\$1.50	11	41,030	\$61,545.00	\$6,769.95
MECÁNICO	\$2.50	10	37,300	\$93,250.00	\$10,257.50
ELÉCTRICO	\$2.50	2	7,460	\$18,650.00	\$2,051.50
LLANTERO	\$2.50	1	3,730	\$9,325.00	\$1,025.75
SOLDADOR	\$3.00	2	7,460	\$22,380.00	\$2,461.80
			<b>Total</b>	<b>\$205,150.00</b>	<b>\$22,566.50</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

Se estima un ahorro global de \$22,566.50, lo cual se obtiene planteando una mejora del 11% en la disponibilidad mecánica gracias a la implementación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). La mayor proporción de ahorros proviene de los roles de mecánicos y ayudantes, los cuales tienen la mayor demanda en términos de horas invertidas.

### **c) Logística**

La siguiente tabla muestra un análisis de los costos de traslado de maquinaria al taller, destacando los ahorros proyectados tras la implementación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Con la aplicación del plan, se espera una significativa reducción en las fallas críticas que tradicionalmente requieren atención en taller, gracias a la

detección temprana de problemas y la intervención preventiva en campo. Esto permitirá una disminución del 50% en los viajes de maquinaria al taller, lo que se traduce en importantes ahorros logísticos, optimización de los recursos y una mayor disponibilidad operativa de las cosechadoras.

*Tabla 30. Resumen de ahorro por traslados de máquinas del campo al taller con la implementación del plan*

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Total, viajes actuales	50 viajes
Costo por viaje (\$)	\$ 350.00
Total, costo actual (\$)	\$ 17,500.00
Reducción en viajes (%)	50%
Viajes reducidos (50%)	50 viajes
Nuevo total de viajes	25 viajes
Nuevo total costo (\$)	\$ 8,750.00
Ahorro total (\$)	\$ 8,750.00

*Fuente: Elaboración propia.*

Para justificar una reducción del 50% en los viajes de la maquinaria al taller tras la implementación del plan de mantenimiento, se usan los siguientes argumentos:

1. **Mantenimiento Preventivo y Predictivo Efectivo:** El plan de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) se enfoca en la detección temprana y prevención de fallas, lo que reduce la probabilidad de que los equipos sufran averías graves que requieran ser trasladados al taller para reparaciones mayores. Con inspecciones periódicas y ajustes menores realizados en el campo, se mitiga la necesidad de traslados frecuentes para corregir problemas críticos.
2. **Reducción en Fallas Críticas de los Sistemas Claves:** El análisis previo ha demostrado que ciertos sistemas críticos, como el trozador y la base cortadora, son

responsables de gran parte de los paros operativos y traslados al taller. Con la implementación de un mantenimiento proactivo y especializado en estos sistemas, el número de fallas críticas que requieren intervención en el taller disminuye significativamente, lo que genera una menor demanda de traslados.

3. **Monitoreo Continuo y Programación de Intervenciones:** El uso de herramientas como el AMEF permite identificar patrones de fallas y planificar intervenciones oportunas antes de que las fallas escalen. Esto asegura que las reparaciones puedan realizarse en el campo o durante paradas programadas, evitando traslados innecesarios al taller.
4. **Optimización de Recursos Humanos y Equipos en Sitio:** El plan incluye la capacitación del personal y el mejor uso de recursos en sitio, lo que permite resolver más problemas directamente en el campo, sin necesidad de trasladar la maquinaria al taller para reparaciones menores o ajustes rutinarios. Este enfoque reduce la frecuencia de los viajes y los costos asociados.

Al disminuir los viajes al taller, se incrementa la disponibilidad de la maquinaria en el campo. Esto no solo genera un ahorro directo en los costos de traslado, sino que también mejora la eficiencia operativa, permitiendo que las cosechadoras permanezcan más tiempo en producción sin interrupciones prolongadas.

#### **Resumen de ahorros:**

En la siguiente tabla se resumen los ahorros proyectados en diversos rubros tras la implementación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). En los rubros de insumos y repuestos, mano de obra y logística, se espera una reducción significativa

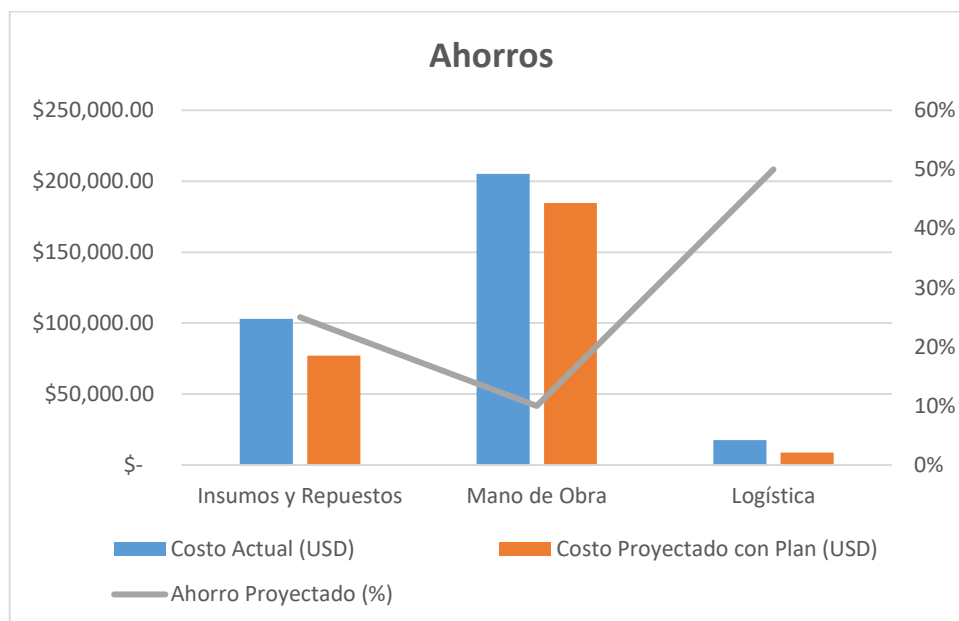
en los costos debido a la disminución de fallas críticas, la optimización de la intervención preventiva y la menor necesidad de traslados al taller. Estos cálculos de ahorro se han estimado en función del análisis de datos históricos y proyecciones basadas en la implementación del plan.

*Tabla 31. Resumen de ahorro proyectado con la implementación del plan*

Rubro	Costo Actual (USD)	Costo Proyectado con Plan (USD)	Ahorro Proyectado (%)
Insumos y Repuestos	\$102,937.80	\$ 77,203.35	25%
Mano de Obra	\$205,150.00	\$182,583.50	11%
Logística	\$ 17,500.00	\$ 8,750.00	50%

*Fuente: Elaboración propia.*

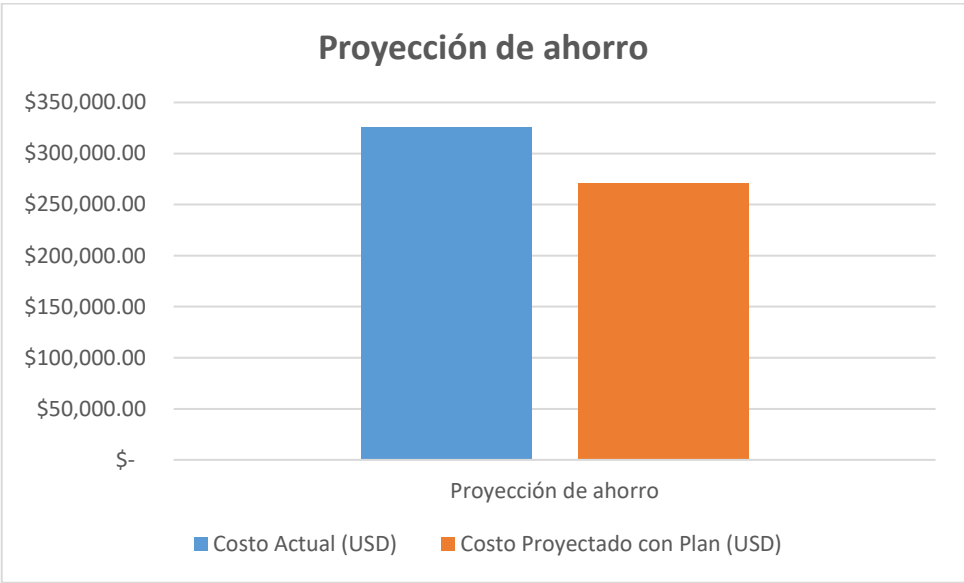
*Grafica 12. Comparación de costos actuales vs los proyectados con la implementación del plan*



*Fuente: Elaboración propia.*

La implementación del plan de mantenimiento no solo reducirá los costos en cada uno de los rubros evaluados, sino que también mejorará la eficiencia operativa al optimizar el uso de recursos y minimizar los tiempos de inactividad de la maquinaria. Con una proyección de ahorros significativos, como el 25% en insumos y repuestos y un 50% en logística, este plan ofrece una solución integral para la sostenibilidad y rentabilidad de las operaciones en campo. En total, se proyecta un ahorro de \$57,050.95 dólares, lo que equivale al 17.5% del costo actual, contribuyendo a una mayor disponibilidad de la maquinaria y un abastecimiento continuo durante la zafra.

Grafica 13. Proyección de ahorros



Fuente: Elaboración propia.

**Análisis de resultados**

Como dato final, el ahorro de los costos operativos antes y después de la propuesta se establecen para el año 1 en \$57,050.95 y en la evaluación económica se retomarán como ahorro por ejecución de la propuesta, estos crecerán un 7% con respecto al año inicial de implementación. Esto se aborda más a detalle en la evaluación económica.

## Plan de proyección de ahorros para el sector

Para poder considerar la proyección de ahorros para el sector se prorrateará el ahorro en función de la cantidad de cosechadoras que se tienen por cada uno de los diferentes ingenios. Se tomará como base de prorrateo la cantidad de máquinas cosechadoras que tiene cada ingenio, debido a que el plan está directamente relacionado con las cosechadoras.

A continuación, se presenta el resumen de la cantidad de maquinaria y su correspondiente ahorro de costos proyectados con la implementación. Considerando los datos de la zafra 22/23.

*Tabla 32 Proyecciones de ahorro con implementación del plan para el sector azucarero*

Ingenio	No. Cosechadoras	Ahorro Insumos y repuestos	Ahorro Mano de obra	Ahorro Logística	Ahorro total
La Cabaña	6	\$ 7,720.34	\$ 6,769.95	\$ 2,625.00	\$ 17,115.29
El Ángel	7	\$ 9,007.06	\$ 7,898.28	\$ 3,062.50	\$ 19,967.83
La Magdalena	1	\$ 1,286.72	\$ 1,128.33	\$ 437.50	\$ 2,852.55
CASSA	20	\$ 25,734.45	\$ 22,566.50	\$ 8,750.00	\$ 57,050.95
JIBOA	6	\$ 7,720.34	\$ 6,769.95	\$ 2,625.00	\$ 17,115.29
<b>Totales por sector</b>	<b>40</b>	<b>\$ 51,468.90</b>	<b>\$ 45,133.00</b>	<b>\$ 17,500.00</b>	<b>\$ 114,101.90</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

Nota: Para el sector también se considerará el mismo aumento en el ahorro proyectado anualmente.

## ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

### Planificación del proyecto

#### Objetivos

#### Objetivo general

- ✓ Desarrollar la planificación, programación y organización para el proyecto de implantación del proyecto denominado “Plan de mantenimiento para cosecha mecanizada centrado en la confiabilidad bajo el enfoque RCM”, en un plazo de 179 días y un costo de \$24,139.00.

### **Objetivos específicos**

- ✓ Emplear técnicas y herramientas relacionadas con las funciones del proceso administrativo en el diseño de la gestión para el proyecto de implantación
- ✓ Definir lineamientos de alcance, tiempo, costo y calidad para la consecución de objetivos del proyecto
- ✓ Establecer la línea base del alcance del proyecto a través de la definición de la Estructura de Desglose de Trabajo (EDT)
- ✓ Describir y relacionar los entregables, los paquetes de trabajo y las actividades que conforman el proyecto
- ✓ Definir las Políticas y Estrategias por las cuales se regirán los componentes del proyecto
- ✓ Diseñar la programación y red global de las actividades del proyecto evaluando su duración y las dependencias existentes entre ellas.
- ✓ Obtener la Duración total del proyecto
- ✓ Precisar y cuantificar los costos involucrados para la ejecución del proyecto
- ✓ Especificar las holguras, inicios y terminaciones tempranas o tardías de las actividades del proyecto
- ✓ Analizar y seleccionar la estructura organizativa más idónea para la implantación del proyecto.

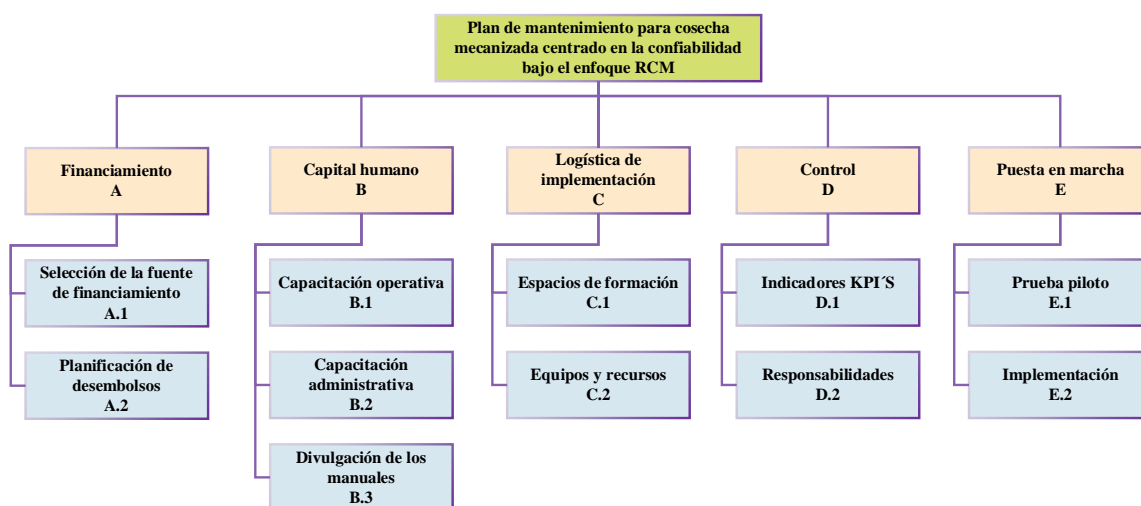
## EDT (Estructura De Desglose Del Trabajo)

La estructura de desglose de trabajo (EDT), tal y como la define la guía de gestión de proyectos “PMBOK”, es una descomposición jerárquica del alcance total del trabajo a realizar por el equipo del proyecto para cumplir con los objetivos del proyecto y crear los entregables requeridos.

Crear la EDT es el proceso de subdividir los entregables del proyecto y el trabajo del proyecto en componentes más pequeños y más fáciles de manejar. El beneficio clave de este proceso es que proporciona una visión estructurada de lo que se debe entregar.

El término entregable es utilizado en la gestión de proyectos para describir un producto, tangible o intangible, como resultado de la ejecución del proyecto, destinado a un cliente, ya sea interno o externo a la organización. Para el presente trabajo en la EDT se desglosarán los entregables en paquetes de trabajo, y éstos a su vez se desglosarán en actividades.

*Ilustración 38. EDT del proyecto*



*Fuente: Elaboración propia.*

## **Descripción de Entregables del Proyecto**

### **Financiamiento**

El entregable "Financiamiento" se centra en la obtención y gestión de los recursos financieros necesarios para llevar a cabo el proyecto de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Involucra el análisis de las opciones de financiamiento disponibles, la planificación de los desembolsos de acuerdo con las fases del proyecto y la estimación de costos asociados con cada una de las actividades del plan. Este paquete busca asegurar la viabilidad económica del proyecto y minimizar los riesgos financieros.

Paquetes Asociados:

- ✓ A.1 Selección de la fuente de financiamiento
- ✓ A.2 Planificación de desembolsos

### **Capital humano**

Este entregable se enfoca en la capacitación y preparación del personal, tanto operativo como administrativo, que será responsable de ejecutar y supervisar el plan de mantenimiento. Incluye la planificación y ejecución de programas de capacitación técnica y administrativa, así como la divulgación de manuales que estandaricen los procesos a seguir. El objetivo es garantizar que el equipo esté adecuadamente preparado para implementar el plan RCM y para gestionar las tareas administrativas relacionadas.

Paquetes Asociados:

- ✓ B.1 Capacitación operativa
- ✓ B.2 Capacitación administrativa
- ✓ B.3 Divulgación de los manuales

### **Logística de implementación**

El entregable "Logística de Implementación" se centra en la disposición de los recursos físicos y técnicos necesarios para ejecutar el plan de mantenimiento. Esto incluye la preparación de espacios de formación para la capacitación del personal, la adquisición y disposición de los equipos y herramientas necesarios para la implementación del plan, y la coordinación logística para que los recursos estén disponibles en tiempo y forma. Su objetivo es asegurar que todos los elementos necesarios estén listos para el éxito de las actividades operativas.

Paquetes Asociados:

- ✓ C.1 Espacios de formación
- ✓ C.2 Equipos y recursos

### **Control**

El entregable "Control" se encarga de establecer los mecanismos de seguimiento y control del desempeño del proyecto. A través de la implementación de indicadores clave de desempeño (KPI's) y la asignación clara de responsabilidades, este paquete garantiza que se monitoreen los avances y que se tomen las medidas correctivas necesarias a lo largo del proyecto. Su enfoque está en asegurar la eficiencia, cumplimiento de objetivos, y la mejora continua en la implementación del plan de mantenimiento.

Paquetes Asociados:

- ✓ D.1 Indicadores KPI's
- ✓ D.2 Responsabilidades

### **Puesta en marcha**

El entregable abarca la ejecución inicial del plan a través de una prueba piloto y, posteriormente, la implementación completa del plan de mantenimiento en todas las áreas de

operación. Su objetivo es probar el plan en una parte de la maquinaria para identificar posibles mejoras antes de escalar la implementación a toda la operación. Los resultados de la prueba piloto y la implementación total serán documentados y evaluados para medir su impacto en la eficiencia y confiabilidad de los sistemas de cosecha.

Paquetes Asociados:

- ✓ E.1 Prueba piloto
- ✓ E.2 Implementación

### **Entregables y descripción de sus respectivos paquetes de trabajo**

*Cuadro 26. Descripción de los paquetes de trabajo*

<b>Entregable</b>	<b>Paquete de trabajo</b>	<b>Descripción del Entregable</b>
Financiamiento	Selección de la fuente de financiamiento	Proceso de evaluación y selección de la fuente más adecuada para financiar el proyecto de acuerdo con sus necesidades. Involucra el análisis de diferentes opciones de financiamiento, incluyendo préstamos, fondos gubernamentales o financiamiento privado.
	Planificación de desembolsos	Elaboración de un plan detallado para los desembolsos y la gestión financiera durante las distintas fases del proyecto. Se establecen los plazos, los montos y los responsables de los pagos en cada etapa, asegurando el cumplimiento del cronograma financiero.
Capital Humano	Capacitación operativa	Capacitación técnica del personal operativo sobre las actividades relacionadas con la implementación del plan RCM. Esta formación garantiza que el equipo pueda realizar las tareas de mantenimiento con base en los principios de confiabilidad.
	Capacitación administrativa	Formación del personal administrativo en la gestión y seguimiento de los procedimientos relacionados con el plan. Involucra la enseñanza de herramientas administrativas, gestión de indicadores y seguimiento de las actividades de mantenimiento.

	Divulgación de los manuales	Distribución y comunicación de los manuales operativos y administrativos para estandarizar los procesos del proyecto. Esta actividad asegura que todas las partes involucradas tengan acceso a la información correcta para ejecutar sus tareas adecuadamente.
Logística de Implementación	Espacios de formación	Preparación de espacios adecuados para llevar a cabo la formación y capacitación del personal involucrado en el proyecto. Incluye la disposición de salas, equipo didáctico y la logística necesaria para garantizar la correcta impartición de las capacitaciones.
	Equipos y recursos	Provisión de todos los equipos, herramientas y recursos técnicos necesarios para la correcta implementación del plan. Se asegura que todo el equipo de trabajo cuente con los insumos adecuados, desde maquinaria hasta herramientas de diagnóstico.
	Indicadores KPI's	Definición e implementación de indicadores clave de desempeño para monitorear la efectividad del plan de mantenimiento. Estos indicadores permiten medir el éxito de las estrategias aplicadas, facilitando el ajuste continuo en busca de mejoras.
Control	Responsabilidades	Asignación clara de responsabilidades a cada miembro del equipo de trabajo en las diferentes etapas del proyecto. Se define quién es responsable de cada tarea y los roles que deben cumplir, garantizando que no haya duplicación de esfuerzos o confusión.
Puesta en Marcha	Prueba piloto	Ejecución de una prueba piloto del plan en una parte de la maquinaria para evaluar su efectividad y realizar ajustes necesarios. Se lleva a cabo en un área controlada antes de expandir el plan a toda la operación, asegurando la viabilidad del enfoque.
	Implementación	Implementación total del plan de mantenimiento en todas las áreas de operación tras la evaluación de la prueba piloto. Esta etapa marca el despliegue completo del plan, aplicando todas las mejoras definidas durante las fases previas.

*Fuente: Elaboración propia.*

## Políticas y Estrategias del Proyecto

*Cuadro 27. Políticas y estrategias de los entregables*

<b>Financiamiento</b>	
<b>Políticas</b>	<b>Estrategias</b>
Evaluar diversas fuentes de financiamiento para asegurar las mejores condiciones para el proyecto.	Realizar un análisis comparativo de al menos cuatro fuentes de financiamiento para elegir la más adecuada.
El plan financiero debe incluir un margen para imprevistos en la ejecución del proyecto.	Previa solicitud de financiamiento, reservar un porcentaje para imprevistos relacionados con riesgos identificados.
Las obligaciones financieras deben ser claramente definidas antes de iniciar el proyecto.	Revisar el flujo de caja proyectado y los plazos de pago antes de tomar una decisión sobre la fuente de financiamiento.
<b>Capital humano</b>	
<b>Políticas</b>	<b>Estrategias</b>
Todo el personal involucrado en la implementación del plan RCM debe recibir formación adecuada.	Diseñar programas de capacitación técnica y administrativa, asegurando la transferencia de conocimiento efectiva.
Las capacitaciones deben realizarse en función de las competencias técnicas y administrativas requeridas.	Desarrollar evaluaciones periódicas para garantizar que el personal adquiera las competencias necesarias.
Los manuales y protocolos del plan deben ser comunicados claramente a todos los niveles de la organización.	Establecer un canal de comunicación efectivo para la distribución y entendimiento de los manuales y procedimientos.
<b>Logística de implementación</b>	
<b>Políticas</b>	<b>Estrategias</b>
Los espacios y recursos para la formación deben estar listos antes del inicio de las capacitaciones.	Asegurar instalaciones adecuadas y equipos de enseñanza antes de las fechas de capacitación.
Garantizar la disponibilidad de los equipos y herramientas necesarias para la implementación.	Identificar y adquirir todos los recursos técnicos antes de la ejecución del plan de mantenimiento.
Los equipos deben estar en perfecto estado de funcionamiento y cumplir con las normativas de seguridad.	Realizar auditorías de los equipos antes de cada fase operativa para asegurar su correcto funcionamiento.
<b>Control</b>	

<b>Políticas</b>	<b>Estrategias</b>
Implementar un sistema de indicadores para evaluar el rendimiento del plan RCM.	Establecer indicadores clave de rendimiento (KPIs) y se hará un monitoreo continuo de estos para ajustar las acciones en función de los resultados.
Las responsabilidades deben estar claramente asignadas a los involucrados en el proyecto.	Elaborar un organigrama que identifique claramente las responsabilidades y el flujo de comunicación.
Realización de un control riguroso del avance del proyecto en relación con los recursos utilizados.	Presentación de informes mensuales que comparen el avance físico con el avance financiero, para evaluar el uso eficiente de recursos.
<b>Puesta en marcha</b>	
<b>Políticas</b>	<b>Estrategias</b>
La implementación del plan debe ser evaluada inicialmente a través de una prueba piloto.	Ejecutar una prueba piloto en una sección controlada antes de desplegar el plan en su totalidad.
Los ajustes necesarios deben realizarse con base en los resultados obtenidos en la prueba piloto.	Documentar y analizar los resultados de la prueba piloto para realizar las modificaciones necesarias en el plan.
La implementación completa debe estar alineada con los resultados y mejoras identificadas en la prueba piloto.	La implementación será gradual y monitoreada continuamente para asegurar que las mejoras sean aplicadas eficazmente.

*Fuente: Elaboración propia.*

## **Programación de las Actividades del Proyecto**

### **1. Actividades y costos**

*Cuadro 28. Actividades, duración y costos del proyecto*

<b>ID Actividad</b>	<b>Nombre de la Actividad</b>	<b>Duración (Días)</b>	<b>Costo</b>	<b>Precedencia</b>
A1	Recolección de datos sobre costos	3	\$ 150.00	
A2	Identificación de posibles fuentes de financiamiento	4	\$ 125.00	A1
A3	Contacto con instituciones financieras	3	\$ 30.00	A2

A4	Evaluación de opciones de financiamiento	3	\$ 75.00	A3
A5	Preparación de informes financieros	4	\$ 180.00	A4
A6	Presentación de la propuesta de financiamiento	1	\$ 80.00	A5
A7	Negociación de términos financieros	1	\$ 80.00	A6
A8	Aprobación de financiamiento	1	\$ 80.00	A7
A9	Definición del cronograma de desembolsos	5	\$ 220.00	A8
A10	Estimación de costos por fase	3	\$ 115.00	A9
A11	Asignación de presupuesto para cada actividad	3	\$ 250.00	A10
A12	Seguimiento y control de desembolsos	5	\$ 346.00	A11
A13	Ajustes al plan de financiamiento según necesidades	3	\$ 75.00	A12
A14	Diseño de contenido de capacitación técnica	7	\$ 450.00	A11
A15	Identificación de personal clave para la capacitación	3	\$ 150.00	A14
A16	Desarrollo de material didáctico	5	\$ 890.00	A15
A17	Coordinación de sesiones de capacitación	3	\$ 425.00	A16
A18	Realización de entrenamientos técnicos	30	\$ 4,200.00	A17, A39
A19	Evaluación del personal capacitado	2	\$ 140.00	A18
A20	Implementación de mejoras post-capacitación	4	\$ 450.00	A19
A21	Identificación de necesidades administrativas	2	\$ 252.00	A11, A20
A22	Diseño del plan de capacitación administrativa	5	\$ 300.00	A21
A23	Contratación de capacitadores externos	3	\$ 150.00	A22
A24	Ejecución de talleres administrativos	15	\$ 2,000.00	A23
A25	Monitoreo de la implementación de nuevos procedimientos	4	\$ 750.00	A24
A26	Elaboración de manuales operativos	6	\$ 800.00	A20, A25

A27	Revisión y aprobación de los manuales por expertos	2	\$ 300.00	A26
A28	Distribución de los manuales entre el personal	2	\$ 50.00	A27
A29	Capacitación sobre el uso de los manuales	5	\$ 700.00	A28
A30	Evaluación del entendimiento y uso de los manuales	2	\$ 100.00	A29
A31	Identificación de espacios físicos para la capacitación	1	\$ 25.00	A11
A32	Equipamiento de salas de formación	3	\$ 75.00	A31
A33	Organización de eventos de formación	3	\$ 60.00	A32
A34	Mantenimiento de los espacios formativos	5	\$ 50.00	A33
A35	Adquisición de equipos necesarios	1	\$ 300.00	A34
A36	Distribución de recursos a las áreas operativas	3	\$ 75.00	A35
A37	Control de inventarios de equipos y recursos	2	\$ 80.00	A36
A38	Mantenimiento de los equipos adquiridos	4	\$ 160.00	A37
A39	Sustitución de equipos defectuosos	1	\$ 50.00	A38
A40	Definición de indicadores clave de desempeño (KPIs)	4	\$ 200.00	A30
A41	Recolección de datos para KPIs	3	\$ 150.00	A40
A42	Análisis de los KPIs recolectados	2	\$ 100.00	A41
A43	Generación de reportes mensuales	4	\$ 500.00	A42
A44	Implementación de ajustes basados en KPIs	3	\$ 75.00	A43
A45	Asignación de responsabilidades por departamento	2	\$ 100.00	A44
A46	Elaboración de organigramas de responsabilidad	3	\$ 75.00	A45
A47	Supervisión del cumplimiento de responsabilidades	3	\$ 100.00	A46
A48	Evaluación de desempeño por responsabilidad asignada	2	\$ 50.00	A47
A49	Planificación de una fase de prueba	3	\$ 150.00	A48

A50	Selección del equipo y personal para la prueba	2	\$ 50.00	A49
A51	Ejecución de la prueba piloto	5	\$ 200.00	A50
A52	Evaluación de los resultados de la prueba	3	\$ 60.00	A51
A53	Ajustes post-prueba	4	\$ 150.00	A52
A54	Planificación de la implementación total	10	\$ 300.00	A30
A55	Distribución de recursos para la implementación	2	\$ 50.00	A54
A56	Coordinación con departamentos operativos	2	\$ 80.00	A55
A57	Ejecución de la implementación	5	\$ 100.00	A56
A58	Monitoreo continuo durante la implementación	7	\$ 156.00	A57
A59	Ajustes a los procedimientos según feedback	3	\$ 125.00	A58
A60	Evaluación final y cierre del proyecto	4	\$ 400.00	A59

*Fuente: Elaboración propia.*

**Costos directos: \$17,959.00**

**Nota:** las actividades relacionadas a la capacitación se desarrollarán continuamente de manera anual, por lo que en el apartado de evaluación económica se retomara ese costo como un desembolso.

**Para los costos indirectos se ha considerado lo siguiente:**

*Cuadro 29. Costos indirectos del proyecto*

RECURSO	COSTO INDIRECTO TOTAL
Gerente de proyecto	\$4,500.00
Personal administrativo	\$700.00
Agua	\$30.00
Electricidad	\$60.00
Internet	\$65.00

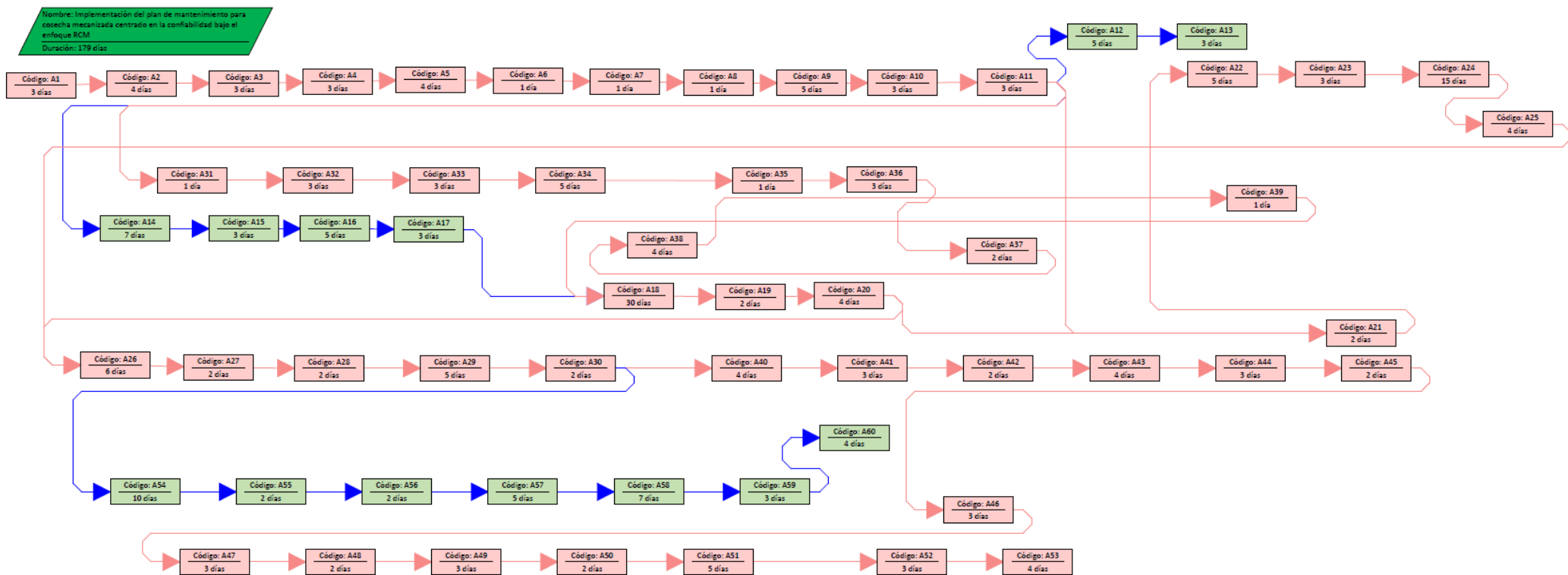
Mobiliario y equipo	\$500.00
Insumos administrativos	\$50.00
Limpieza	\$200.00
Impuestos	\$75.00
<b>Total</b>	<b>\$6,180.00</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

**Costo total de implementación: \$24,139.00**

## **2. Diagrama de red de actividades cpm**

Ilustración 39. Diagrama red CPM del proyecto



Fuente: Elaboración propia.

### 3. Holguras y criticidad de las actividades

Tabla 33. Holguras y criticidad de las actividades

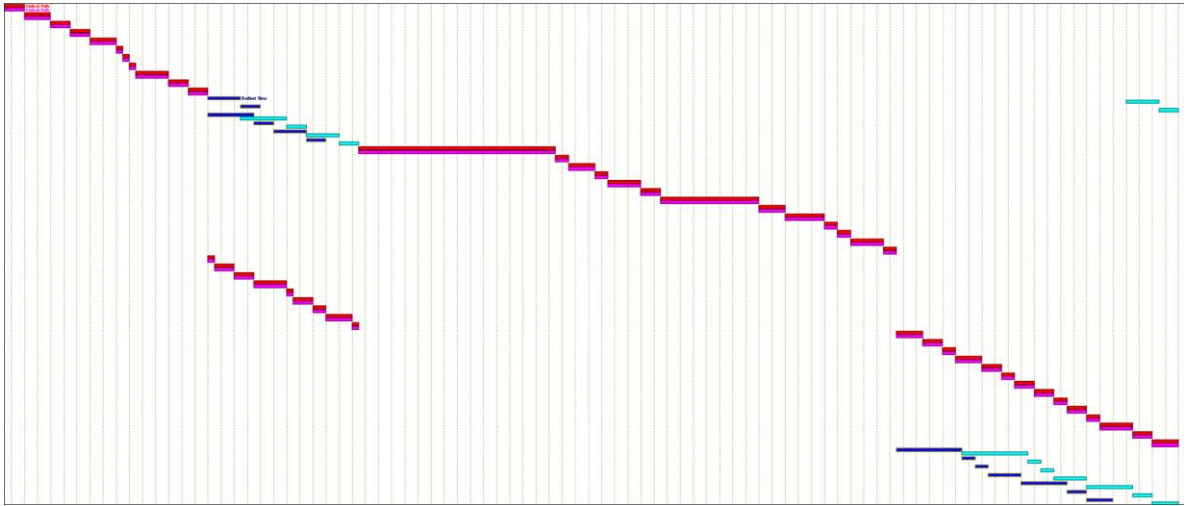
Actividad	Criticidad	Duración	ES	EF	LS	LF	Holgura (LS-ES)
A1	Si	3	0	3	0	3	0
A2	Si	4	3	7	3	7	0
A3	Si	3	7	10	7	10	0
A4	Si	3	10	13	10	13	0
A5	Si	4	13	17	13	17	0
A6	Si	1	17	18	17	18	0
A7	Si	1	18	19	18	19	0
A8	Si	1	19	20	19	20	0
A9	Si	5	20	25	20	25	0
A10	Si	3	25	28	25	28	0
A11	Si	3	28	31	28	31	0
A12	No	5	31	36	171	176	140
A13	No	3	36	39	176	179	140
A14	No	7	31	38	36	43	5
A15	No	3	38	41	43	46	5
A16	No	5	41	46	46	51	5
A17	No	3	46	49	51	54	5
A18	Si	30	54	84	54	84	0
A19	Si	2	84	86	84	86	0
A20	Si	4	86	90	86	90	0
A21	Si	2	90	92	90	92	0
A22	Si	5	92	97	92	97	0
A23	Si	3	97	100	97	100	0
A24	Si	15	100	115	100	115	0
A25	Si	4	115	119	115	119	0
A26	Si	6	119	125	119	125	0
A27	Si	2	125	127	125	127	0
A28	Si	2	127	129	127	129	0
A29	Si	5	129	134	129	134	0
A30	Si	2	134	136	134	136	0
A31	Si	1	31	32	31	32	0
A32	Si	3	32	35	32	35	0
A33	Si	3	35	38	35	38	0
A34	Si	5	38	43	38	43	0

A35	Si	1	43	44	43	44	0
A36	Si	3	44	47	44	47	0
A37	Si	2	47	49	47	49	0
A38	Si	4	49	53	49	53	0
A39	Si	1	53	54	53	54	0
A40	Si	4	136	140	136	140	0
A41	Si	3	140	143	140	143	0
A42	Si	2	143	145	143	145	0
A43	Si	4	145	149	145	149	0
A44	Si	3	149	152	149	152	0
A45	Si	2	152	154	152	154	0
A46	Si	3	154	157	154	157	0
A47	Si	3	157	160	157	160	0
A48	Si	2	160	162	160	162	0
A49	Si	3	162	165	162	165	0
A50	Si	2	165	167	165	167	0
A51	Si	5	167	172	167	172	0
A52	Si	3	172	175	172	175	0
A53	Si	4	175	179	175	179	0
A54	No	10	136	146	146	156	10
A55	No	2	146	148	156	158	10
A56	No	2	148	150	158	160	10
A57	No	5	150	155	160	165	10
A58	No	7	155	162	165	172	10
A59	No	3	162	165	172	175	10
A60	No	4	165	169	175	179	10
<b>Tiempo de realización del proyecto</b>			=	<b>179 días</b>			
<b>Cantidad de rutas críticas</b>			=	<b>3</b>			

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4. Diagrama de actividades Gantt

Ilustración 40. Diagrama Gantt del proyecto



Fuente: Elaboración propia.

## ORGANIZACIÓN PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO

### Tipos de Organizaciones

Las organizaciones son sistemas estructurados compuestos por personas o departamentos que colaboran para alcanzar un propósito común. En este sentido, la organización para la ejecución de un proyecto es de naturaleza temporal, vigente hasta la finalización del mismo. Dentro de este marco, se define la jerarquía, se distribuyen y asignan responsabilidades, y se establecen los canales de comunicación entre los miembros del equipo. Todo ello con el objetivo de planificar, coordinar, dirigir y supervisar las actividades necesarias para llevar a cabo el proyecto, de acuerdo con las especificaciones y términos previamente definidos.

Existen diferentes modelos de organizaciones en la gestión de proyectos, entre las cuales se pueden mencionar:

### **Organización funcional**

Es una organización jerárquica en la cual cada empleado tiene definido claramente un superior y el personal está agrupado por áreas de especialización dirigidas por una persona con experiencia en esa área. Cada departamento de una organización funcional realizará el trabajo del proyecto de forma independiente de los demás departamentos.

### **Organización orientada a proyectos**

Es el extremo opuesto a la organización funcional, en la que el director del proyecto tiene plena autoridad para asignar prioridades, asignar recursos y dirigir el trabajo de las personas asignadas al proyecto. Las organizaciones orientadas a proyectos suelen contar con unidades organizacionales denominadas departamentos, sin embargo, pueden reportar directamente al director del proyecto

### **Organización matricial**

Es una estructura de organización en la cual el director del proyecto comparte con los gerentes funcionales la responsabilidad de asignar prioridades y de dirigir el trabajo de las personas asignadas al proyecto. Este tipo refleja una mezcla de características de las organizaciones funcionales y de las orientadas a proyectos, pudiéndose clasificar como débiles, equilibradas o fuertes, dependiendo del nivel relativo de poder e influencia entre gerentes funcionales y directores de proyecto.

### **Comparación entre los tipos de organizaciones**

Cuadro 30. Comparación de los diferentes tipos de estructuras organizativas

Estructura Organizativa	Principales Ventajas	Principales Desventajas	Principales Aplicaciones
<b>Funcional</b>	- Especialistas en un área funcional.	- El trabajo funcional se considera más importante que el proyecto.	Proyectos que requieren inversiones en equipos asociados a una función de la organización.
	- Canales de comunicación y control definidos.	- Mayor burocracia para la comunicación y el trabajo interdisciplinario. - Dificultad en el manejo integral del proyecto.	
<b>Orientada a Proyectos</b>	- Existe unidad de mando, el director tiene total responsabilidad y un mayor grado de autoridad sobre el proyecto.  - Se acortan las líneas de comunicación, coordinación y tiempo de respuesta.  - Mejora la dirección integrada del proyecto.	- Contratación de terceros especialistas en un área funcional.  - Tendencia a baja eficiencia en el control de costos.  - Incertidumbre respecto al futuro de las personas una vez terminado el proyecto.	Proyectos de empresas nuevas, proyectos repetitivos o únicos y complejos.
<b>Matricial</b>	- Mayor coordinación y flexibilidad de recursos entre las áreas de especialización y las actividades del proyecto.  - Experiencia funcional disponible.  - Se genera menos ansiedad respecto al futuro.	- Se viola el principio de unidad de mando.  - Alta probabilidad de conflicto de poder entre el director del proyecto y los jefes funcionales.  - Posibles retrasos por búsqueda de consensos entre altos mandos.	Proyectos menores, en reemplazo de las relaciones de coordinación, como proyectos empresa-autónomos.

Fuente: Elaboración propia.

Es de considerar que dependiendo del tipo de organización estas presentan diversas características:

*Cuadro 31. Características de los diferentes tipos de organizaciones de proyecto*

		Estructura de la organización				
		Funcional	Matricial			Orientada a proyectos
			Débil	Equilibrada	Fuerte	
Características del proyecto	Autoridad del Director del proyecto	Poca o ninguna	Baja	Moderada	Alta	Casi Total
	Disponibilidad de recursos	Poca o ninguna	Baja	Moderada	Alta	Casi Total
	Quien gestiona el presupuesto del proyecto	Gerente funcional	Gerente funcional	Mixta	Director de proyecto	Director de proyecto
	Rol del director del proyecto	Tiempo parcial	Tiempo parcial	Tiempo completo	Tiempo completo	Tiempo completo
	Personal administrativo de la dirección de proyectos	Tiempo parcial	Tiempo parcial	Tiempo parcial	Tiempo completo	Tiempo completo

*Fuente: Elaboración propia.*

### **Selección de organización**

Analizando la información comparativa entre las diferentes alternativas de organización, y dada las características y finalidad del proyecto para la puesta en marcha del plan, se recomienda la organización matricial equilibrada.

Por otro lado, se necesita enfocar el sistema de trabajo al cumplimiento de metas para la finalización de actividades, paquetes y entregables de manera sistematizada, para lo cual se necesita acortar las líneas de comunicación y coordinación del equipo multidisciplinario.

El equipo del proyecto incluye al director del proyecto y al grupo de individuos que actúan conjuntamente en la realización del trabajo del proyecto para alcanzar sus objetivos,

entre los cuales se encuentran el personal de dirección del proyecto y otros miembros del equipo que desarrollan el trabajo, pero que no necesariamente participan en la dirección del proyecto.

### **Equipo del Proyecto**

El equipo del proyecto está compuesto por el director del proyecto y un grupo de personas que colaboran en la ejecución de las tareas necesarias para cumplir con los objetivos del mismo. Este equipo incluye tanto al personal encargado de la dirección del proyecto como a otros miembros que realizan tareas específicas, aunque no necesariamente participen en la toma de decisiones estratégicas.

En el caso particular del proyecto para implementar un plan de mantenimiento enfocado en mejorar la confiabilidad de la cosecha mecanizada de caña de azúcar, bajo el enfoque RCM, se propone que el equipo directivo esté conformado por un director de proyecto, un responsable técnico y un responsable administrativo.

### **Organigrama**

*Ilustración 41. Organigrama de la organización del proyecto*



*Fuente: Elaboración propia.*

## EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica tiene como objetivo analizar el rendimiento y rentabilidad de toda la inversión independiente de la fuente de financiamiento. Entre estos aspectos a evaluar se encuentra: Tasa Mínima Atractiva de Rendimiento (TMAR), Valor Actual Neto (VAN), y la Relación Beneficio-Costo (B/C) y el Tiempo de Recuperación de la Inversión.

Como primer punto se analizan los flujos operativos. Los beneficios por ahorro operativo se establecen a partir de restar el costo de capacitación anual del plan y el costo por supervisión y ejecución del mantenimiento preventivo RCM (Que crecerán un 7% anual con respecto al año inicial también) a los ahorros por ejecución de la propuesta. Es importante destacar que el ingreso por ahorro operativo crecerá anualmente un 7% con respecto al año 1.

### Costo de capacitación anual del plan

Tabla 34. Costo de capacitación anual del plan

Actividades de capacitación anual	Costo Mensual
Coordinación de sesiones de capacitación	\$425.00
Realización de entrenamientos técnicos	\$4,200.00
Evaluación del personal capacitado	\$140.00
Ejecución de talleres administrativos	\$2,000.00
Capacitación sobre el uso de los manuales	\$700.00
Evaluación del entendimiento y uso de los manuales	\$100.00
<b>Total</b>	<b>\$7,565.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

## Costo por supervisión y ejecución del mantenimiento preventivo RCM

*Tabla 35. Costo por supervisión y ejecución del plan*

Personal	Costo Mensual
Supervisor control del mantenimiento RCM	\$ 850.00
Mecánico mantenimiento preventivo RCM	\$ 600.00
Eléctrico mantenimiento preventivo RCM	\$ 600.95
<b>Total</b>	<b>\$ 2,050.95</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

Por parte de la inversión, esta comprende los montos del costo de formulación de la propuesta y el costo de implementación del año 1. En la siguiente tabla se presenta un resumen de los datos a utilizar para el desarrollo de la evaluación económica.

*Tabla 36. Resumen de los flujos a utilizar para la evaluación económica*

Determinación de la inversión				
Costo por formulación (ABC)		Costo de implementación año 1		Inversión
\$ 9,043.04		\$ 24,139.00		<b>\$ 33,182.04</b>
Proyección de flujos				
Año	Ahorro por ejecución de la propuesta.	Costo por capacitación anual	Costo por supervisión y ejecución del mantenimiento preventivo RCM	Ahorro operativo
1	\$ 57,050.95		\$ 2,050.95	<b>\$ 55,000.00</b>
2	\$ 61,044.52	\$ 7,565.00	\$ 2,194.52	<b>\$ 51,285.00</b>
3	\$ 61,324.07	\$ 7,565.00	\$ 2,204.57	<b>\$ 51,554.50</b>
4	\$ 61,343.63	\$ 7,565.00	\$ 2,205.27	<b>\$ 51,573.37</b>
5	\$ 61,345.00	\$ 7,565.00	\$ 2,205.32	<b>\$ 51,574.69</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

Los datos destacados en la última columna serán los que se considerarán para el estudio económico en concepto de inversión y flujos operativos.

### **TMAR**

#### **Lineamientos para incorporar una fuente de financiamiento a la TMAR del proyecto**

Para el caso del proyecto abordado en este documento, no fue necesario financiamiento externo ya que el ingenio toma el rol de inversionista con su propio capital, no obstante, otra entidad puede requerir financiamiento para su implementación por lo que a continuación se presentan los lineamientos a considerar en caso de ser necesario el financiamiento son los siguientes:

**1. Evaluación de Necesidades Financieras:**

- Determinar la cantidad exacta de financiamiento necesario.
- Evaluar el plazo en el que se necesitará el financiamiento.

**2. Identificación de Fuentes de Financiamiento:**

- Bancos y Entidades Financieras: Buscar préstamos comerciales, líneas de crédito, etc.
- Inversionistas Privados: Considerar capital de riesgo, inversión, etc.
- Subvenciones y Fondos Públicos: Investigar programas gubernamentales de apoyo a proyectos.

**3. Análisis de Costos y Beneficios:**

- Comparar las tasas de interés y condiciones de diferentes fuentes de financiamiento.
- Evaluar el impacto del financiamiento en la rentabilidad del proyecto.

**4. Preparación de Documentación:**

- Elaborar un plan de negocios detallado.
- Preparar proyecciones financieras y análisis de riesgos.

**5. Negociación y Selección:**

- Negociar términos y condiciones con las entidades financieras: Buscar tasas competitivas y analizar cómo afectan la TMAR del proyecto, seleccionar opciones con plazos de pago acordes a la duración del proyecto, evaluar los activos disponibles para respaldar el financiamiento.
- Seleccionar la opción que mejor se adapte a las necesidades del proyecto.

## 6. Monitoreo y Gestión del Financiamiento:

- Implementar un sistema de seguimiento del uso del financiamiento.
- Asegurar el cumplimiento de los términos acordados.
- Realizar un análisis de sensibilidad: Simular escenarios con diferentes tasas de interés o plazos de pago.
- Asegurarse de que la tasa interna de retorno (TIR) del proyecto siga superando la nueva TMAR global, garantizando su atractivo.

### Ajuste del Modelo de TMAR

En caso de incluir financiamiento externo, el cálculo de la TMAR del proyecto debe reflejar la participación de las nuevas fuentes, siguiendo esta fórmula:

$$\begin{aligned}
 TMAR_{\text{proyecto}} &= (TMAR_{\text{inversionista}} \cdot \% \text{aporte inversionista}) + (TMAR_{\text{financista}} \\
 &\quad \cdot \% \text{aporte financista})
 \end{aligned}$$

### Proceso para calcular la TMAR del proyecto.

Para el caso de este proyecto se ha considerado que la inversión será propia por parte del ingenio, para el cual se adoptan las siguientes consideraciones en la determinación de la

TMAR. Pero se presenta el proceso completo para que se pueda calcular en dado caso de que otro ingenio adopte fuentes de financiamiento de índole inversionista y financista.

### **TMAR Inversionista**

- ❖ **Inflación:** Considerando los datos actuales para el país se establece que esta será de un 1.78% extraído del BCR.
- ❖ **Premio al riesgo del inversionista:** tomando en cuenta la naturaleza del proyecto y que este será un proyecto que tendrá resultados positivos según las evaluaciones previas se establece un premio al riesgo del 15%. Esto considerando que, en el sistema financiero actual, tomando como referencia el banco de fomento agropecuario establece una TMAR del 12% al 20% para este tipo de proyectos sujetos a evaluación. Además, el autor Baca Urbina menciona que el premio al riesgo para proyectos de bajo riesgo es del 1% al 10%, mediano riesgo del 11% al 20% y de alto riesgo superiores al 21%. Teniendo estas consideraciones se procede a calcular la TMAR.

$$TMAR = 1.78\% + 15\% + (1.78\% * 15\%)$$

$$TMAR_{inversionista} = 17.05\%$$

### **TMAR Financista**

- ❖ **Premio al riesgo del financista:** En este caso, no se tiene ninguna fuente de financiamiento, pero en dado caso existiese u otro ingenio decidiera replicar este plan el premio al riesgo financista sería la tasa que está considerada en la del préstamo.

### **TMAR Ponderada del Proyecto**

Para tener una visión general de la Tasa Mínima Atractiva de Rendimiento para el proyecto, se calcula la TMAR global, considerando las TMAR y los porcentajes de aportaciones que

cada una de las fuentes de financiamiento aportan al proyecto, Para este caso solo será para el inversionista y por eso se hace el siguiente calculo:

*Tabla 37. Aporte de las fuentes de financiamiento y sus TMAR*

Fuente	TMAR	% de aporte
Inversionista	17.05%	100%
Financista (Entidad financiera)	0	0%

*Fuente: Elaboración propia.*

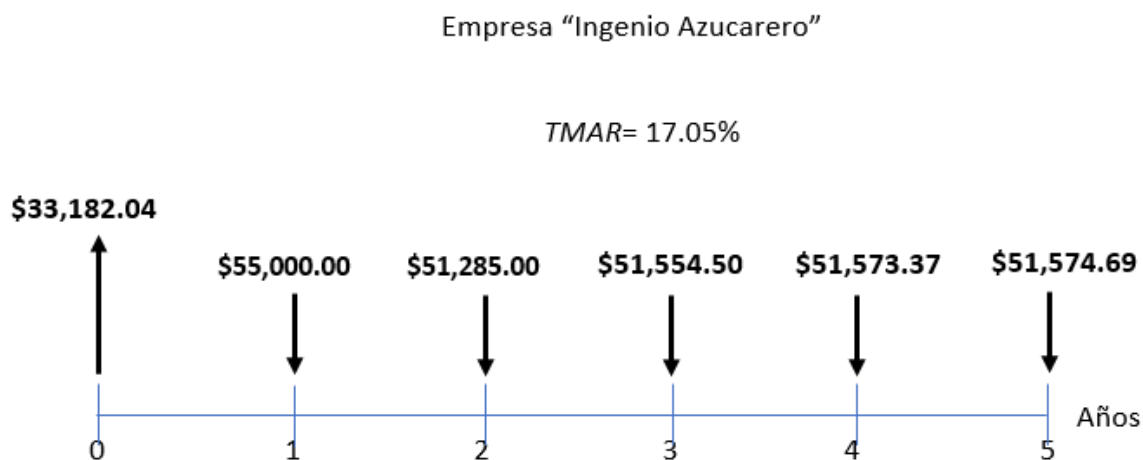
$$TMAR_{proyecto} = (TMAR_{inv.} \times \% \text{ aportación inv.}) + (TMAR_{BFA} \times \% \text{ aportación BFA})$$

$$TMAR_{proyecto} = (17.05\% \times 100\%) + (0\% \times 0\%)$$

$$TMAR_{proyecto} = 17.05\%$$

### Diagrama de flujos:

*Ilustración 42. Diagrama de flujo de los movimientos económicos anuales para la empresa en el periodo de estudio*



*Fuente: Elaboración propia.*

## VAN

$$VAN = \$ 33,182.04$$

$$- \left( \frac{\$55,000.00}{(0.1705 + 1)^1} + \frac{\$51,285.00}{(0.1705 + 1)^2} + \frac{\$51,554.50}{(0.1705 + 1)^3} + \frac{\$51,573.37}{(0.1705 + 1)^4} + \frac{\$51,574.69}{(0.1705 + 1)^5} \right)$$

$$VAN = \$ 33,182.04 - \$167,517.45$$

$$VAN = -134,335.41$$

## Conclusión

Si se concreta el proyecto y se lleva a cabo la inversión la empresa tendrá ganancias actuales (presente 0) por \$134,335.41 evaluado con una tasa del 17.05%, en un periodo de estudio de 5 años.

## TIR

$$VAN_{costos} = VAN_{ganancias}$$

$$0 = \$ 33,182.04$$

$$- \left( \frac{\$55,000.00}{(i + 1)^1} + \frac{\$51,285.00}{(i + 1)^2} + \frac{\$51,554.50}{(i + 1)^3} + \frac{\$51,573.37}{(i + 1)^4} + \frac{\$51,574.69}{(i + 1)^5} \right)$$

$$0 = (i + 1)^5(\$ 33,182.04) - (i + 1)^4(\$55,000.00) - (i + 1)^3(\$51,285.00) - (i + 1)^2(\$51,554.50) - (i + 1)^1(\$ 51,573.37) - \$51,574.69$$

Despejando  $i = 1.6027 = 160.27\%$

**La TIR es de 160.27%**

Partiremos de este valor iterando con valores superiores e inferiores para analizar las tasas de ganancia o pérdidas.

**Evaluando TIR=170%**

$$VAN = \$ 33,182.04$$

$$- \left( \frac{\$55,000.00}{(1.7 + 1)^1} + \frac{\$51,285.00}{(1.7 + 1)^2} + \frac{\$51,554.50}{(1.7 + 1)^3} + \frac{\$51,573.37}{(1.7 + 1)^4} + \frac{\$51,574.69}{(1.7 + 1)^5} \right)$$

$$VAN = \$1,827.57$$

**Evaluando TIR=150**

$$VAN = \$ 33,182.04$$

$$- \left( \frac{\$55,000.00}{(1.5 + 1)^1} + \frac{\$51,285.00}{(1.5 + 1)^2} + \frac{\$51,554.50}{(1.5 + 1)^3} + \frac{\$51,573.37}{(1.5 + 1)^4} + \frac{\$51,574.69}{(1.5 + 1)^5} \right)$$

$$VAN = -\$2,171.45$$

**Análisis de resultados**

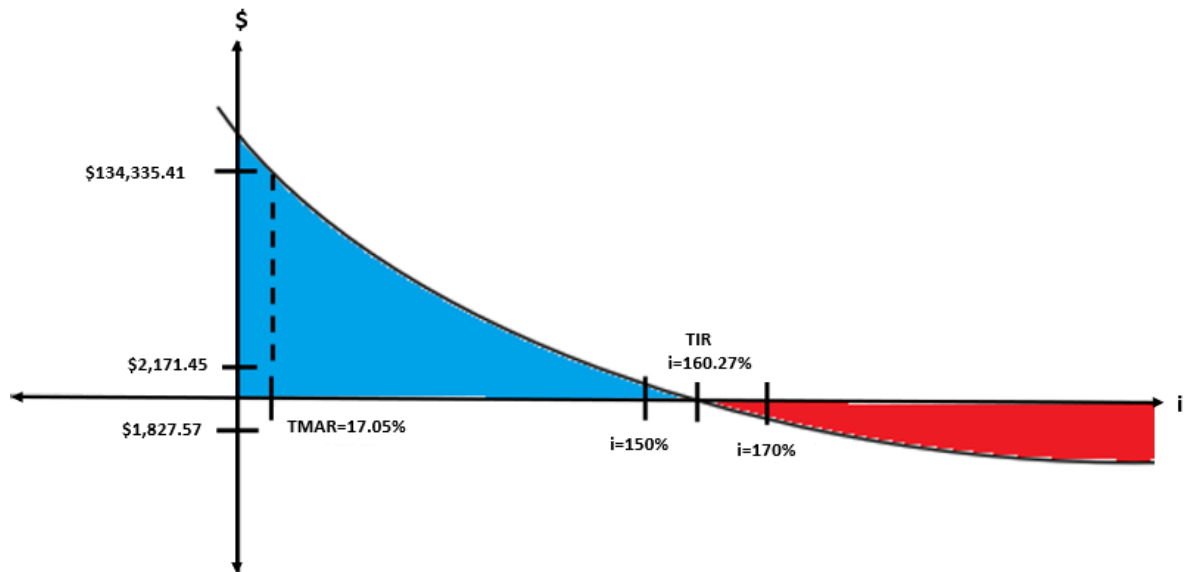
*Tabla 38. Análisis de resultados TIR*

<b>Tabla de resultados</b>		
<b>Tasa</b>	<b>Ganancia</b>	<b>Perdida</b>
<b>150</b>	<b>\$2,171.45</b>	
<b>TIR=160.27%</b>	<b>\$0</b>	<b>\$0</b>
<b>170</b>		<b>\$1,827.57</b>

Fuente: Elaboración propia.

## Gráfica

Grafica 14. Comportamiento de la TIR y TMAR



Fuente: Elaboración propia.

## Conclusión:

Se puede establecer que la alternativa es rentable para tasas inferiores al 160.27%, ya que genera ganancias si por el contrario se toman tasas superiores presentara pérdidas.

Para una TMAR del 17.05% se concluye que es muy rentable, teniendo en cuenta que  $TIR > TMAR$ , para un estudio de 5 años en un proyecto convencional.

## BENEFICIO-COSTO

$$VAN_{costos} = \$33,182.04$$

$$VAN_{ganancias} = \$167,517.45$$

$$\frac{B}{C} = \frac{\$167,517.45}{\$33,182.04}$$

$$\frac{B}{C} = \mathbf{5.05}$$

**Conclusión:**

La inversión es rentable, ya que si se invierte. Por cada dólar invertido se ganarán \$4.05 evaluado con una tasa del 17.05% en un periodo de 5 años.

**PRI**

Periodo de recuperación de la inversión

$$PRI = \frac{\$33,182.04}{\$167,517.45} = \mathbf{0.2 \text{ años} \approx 2.4 \text{ meses}}$$

**Conclusión:**

La inversión se recuperará en un mes promedio de 3 meses de operaciones.

Resumen de la evaluación económica

*Grafica 15. Resumen de la evaluación económica*

<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>
<b>VAN</b>	<b>\$134,335.41</b>
<b>TIR</b>	<b>160.27%</b>
<b>B/C</b>	<b>5.05</b>
<b>PRI</b>	<b>2.4 meses</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

## **Conclusión**

Al realizar la evaluación económica por medio de las técnicas más representativas se concluye que el proyecto es altamente viable desde el enfoque económico, generando alta rentabilidad con su implementación. Evaluado en un periodo de 5 años con una TMAR del 17.05%.

## **EVALUACIÓN AMBIENTAL-SOCIAL**

La evaluación del impacto ambiental es una identificación y valoración de los efectos de las acciones de un proyecto ocurridas en el medio físico-biológico, social, económico y cultural, incluyendo aspectos de tipo político, normativo e institucional.

En conformidad con las leyes salvadoreñas, las evaluaciones de impacto ambiental requeridas a todo proyecto o iniciativa empresarial, abarcan el análisis de impactos generados por todas las acciones mencionadas anteriormente.

La evaluación del impacto ambiental representa un proceso de análisis, el cual contribuye a identificar los impactos ambientales posibles (actuales y futuros), ya sean positivos o negativos de las acciones humanas o técnicas en las que puede incurrir el proyecto.

Para este caso la implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (**RCM**) para cosechadoras de caña de azúcar busca mejorar la eficiencia operativa, reducir tiempos muertos y optimizar el uso de recursos.

### **Cosecha de caña de azúcar**

La cosecha de caña de azúcar en el país se presenta en 2 ejes principales, el primero se trata del método tradicional de quema y corte manual de la caña. El segundo de la cosecha mecanizada o corte en verde. Para entenderlo mejor a continuación se detallan estos:

### **Cosecha de caña de azúcar por medio tradicional (Quema y corte manual)**

La cosecha tradicional es en la cual se realizan dos actividades fundamentales: la quema y el corte de la caña de azúcar. La quema de los cañales previo al corte es una de las practicas generalizadas durante la zafra, que dura una aproximado de 6 meses, de noviembre a abril de cada año. El estatus con el que se maneja a nivel público es de quemas no programadas y se considera que, aproximadamente, el 80% de los cañales son quemados. La quema de los cañales se explica a partir de la supuesta necesidad de eliminar el follaje para facilitar la corta y el transporte de la caña. Se maneja que para los ingenios la operación con la caña quemada genera menos costos. Independientemente de las razones expuestas, lo cierto es que la quema de la caña de azúcar genera un conjunto de impactos ambientales asociados a los suelos, a la biodiversidad y desde luego al agua. También tiene un efecto directo en el cambio climático dado que se genera gases de efecto invernadero. En relación a los suelos, los efectos más comunes están asociados a la compactación que se produce por someter el suelo a altas temperaturas; modifica la estructura de los mismos porque afecta las capas más superficiales que a su vez son las más ricas en nutrientes. La quema tiene un fuerte impacto en la biodiversidad pues los animales que hacen de los cañales su hábitat tienen que huir durante las quemas o mueren incinerados. También repercute en las condiciones ambientales de los contornos de los cañales y por supuesto en las comunidades, cuyos cultivos se pueden ver afectados por la incidencia del calor que se genera durante las quemas. El agua se ve afectada por las quemas de los cañales debido a las escorrentías de los residuos que se generan por la quema, y previo a someter a la caña al proceso de transformación es lavada, para lo que se necesitan enormes cantidades de agua que son contaminadas por el efecto de los residuos adheridos a la caña de azúcar resultado de la quema de la misma. La

quema tiene un impacto relevante en el cambio climático. La cosecha de la caña de azúcar se realiza desde noviembre hasta finales abril, tiempo durante el cual, con el fin de rozar la caña, se procede a la quema de la misma supuestamente de manera no programada. Lo anterior significa que, durante aproximadamente 6 meses, El Salvador se ve sometido a una dinámica de contaminación del aire de manera extensiva por los efectos mismos de la quema que produce humo y ceniza volátil. Alcanza prácticamente a todo el país por la incidencia del viento. También se producen lodos con cenizas por efectos de la lluvia o el riego que, a través de la escorrentía, seguramente, contamina las aguas superficiales.

### **Cosecha mecanizada (corte en verde)**

La cosecha en verde consiste en rozar la caña sin quemarla, manteniendo el residuo o rastrojo para conservar la humedad. La cosecha en verde permite avanzar, de una manera más eficiente, en la mitigación e impacto del cambio climático, reduciendo las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que produce la quema.

La agroindustria azucarera salvadoreña, avanza gradualmente en la cosecha en verde de caña de azúcar a un ritmo de crecimiento de 3% cada zafra. Para la zafra 2022-2023 la cosecha en verde alcanzo 37% de toda la caña cultivada en el país, lo que implica un compromiso de parte de todos los actores que conforman el sector, especialmente productores e ingenios, ya que conlleva inversión en tecnología y cambios agrícolas en campo.

La implementación de la cosecha en verde por parte de la agroindustria azucarera constituye un eje fundamental de la sostenibilidad agrícola y contribuye a la conservación del medio ambiente: así como al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible del Sistema de las Naciones Unidas.

El enfoque en corte en verde reemplaza prácticas tradicionales de quema y corte manual, ofreciendo importantes beneficios ambientales y económicos. En este contexto, es crucial analizar el impacto ambiental que generará la mecanización, así como las medidas necesarias para mitigar riesgos y asegurar el cumplimiento con la legislación vigente en El Salvador.

La quema de caña de azúcar es una labor que se realiza en todos los ingenios del país al momento de la cosecha y ha sido adoptada sobre todo para facilitar e incrementar la capacidad de corte, para eliminar la materia extraña como las hojas y para ahuyentar o eliminar animales ponzoñosos que se encuentren dentro del cañal; sin embargo, los perjuicios con esta práctica son más que los beneficios, ya que la quema de caña empobrece la fertilidad del suelo a lo largo del tiempo del manejo del cultivo, se emiten cantidades importantes de gases de efecto invernadero que impactan en el calentamiento global y en la salud; consecuentemente el productor pierde rentabilidad en su cultivo, sin percibir el impacto directo en su medio de subsistencia que es el suelo y el clima.

La carga de contaminantes que se emiten durante la quema de caña de azúcar contrarresta el balance positivo que tiene este noble cultivo en la generación de oxígeno durante todo su ciclo vegetativo.

El enfoque en corte en verde reemplaza prácticas tradicionales de quema y corte manual, ofreciendo importantes beneficios ambientales y económicos. En este contexto, es crucial analizar el impacto ambiental que generará la mecanización, así como las medidas necesarias para mitigar riesgos y asegurar el cumplimiento con la legislación vigente en El Salvador.

### **Comparación Detallada: Cosecha Mecanizada vs. Cosecha Tradicional**

Tabla 39. Ventajas y comparación de la cosecha mecanizada vs la cosecha tradicional

Aspecto	Ventajas de la Disponibilidad de Maquinaria	Cosecha Mecanizada (Corte en Verde)	Cosecha Tradicional (Quema y Corte Manual)
<b>Eficiencia Operativa</b>	Reducción de tiempos muertos, mayor producción continua durante la zafra.	Alta eficiencia, mayor capacidad de cosecha diaria.	Baja eficiencia, limitada por condiciones climáticas.
<b>Planificación Logística</b>	Mejora la programación de transporte y procesamiento.	Facilita la sincronización con el procesamiento industrial.	Dependencia del clima afecta la logística.
<b>Consumo de Recursos</b>	Optimización del uso de combustible, menor desgaste de motores.	Menor consumo de combustible por tonelada cosechada.	Uso elevado de energía en herramientas manuales y transporte.
<b>Impacto Ambiental</b>	Reducción de emisiones por operaciones más eficientes.	Eliminación de emisiones contaminantes.	Altas emisiones de CO <sub>2</sub> , metano y partículas por quema.
<b>Conservación del Suelo</b>	Evita la degradación por maquinaria parada, mejora la gestión del suelo.	Mantiene la estructura orgánica y evita erosión.	Degradación del suelo por incendios, pérdida de fertilidad.
<b>Salud y Seguridad</b>	Menor exposición de trabajadores a condiciones peligrosas.	Reduce riesgos laborales y exposición a humos.	Alto riesgo de accidentes y enfermedades respiratorias.
<b>Costos Operativos</b>	Reducción de gastos en alquiler de maquinaria adicional.	Menores costos en operación eficiente.	Costos elevados por interrupciones y maquinaria adicional.
<b>Uso de Residuos</b>	Fomento del aprovechamiento de biomasa para energía o abono.	Reutilización de residuos agrícolas.	Quema de residuos sin aprovechamiento.
<b>Riesgo de Incendios</b>	Disminución del riesgo de incendios al eliminar la quema.	Prevención de incendios en áreas de cultivo.	Alto riesgo de incendios descontrolados.
<b>Impacto Social</b>	Generación de empleo especializado, mejora de la calidad de vida en la comunidad.	Beneficios económicos por producción continua.	Condiciones laborales precarias para trabajadores.

Fuente: Elaboración propia.

## **Legislación ambiental aplicada al proyecto**

### **1. Ley del Medio Ambiente (1998)**

Esta ley es el marco principal de protección ambiental en El Salvador y establece directrices para minimizar los impactos de actividades económicas en el entorno natural.

#### **Aplicación en la cosecha de caña:**

- ✓ Regula las emisiones atmosféricas, prohibiendo la quema no controlada de cultivos como la caña de azúcar.
- ✓ Promueve la evaluación de impacto ambiental (EIA) para proyectos agrícolas de gran escala, incluyendo la mecanización de la cosecha.
- ✓ Establece sanciones para prácticas que generen contaminación o afecten la biodiversidad local.

#### **Relevancia para la cosecha mecanizada:**

El corte en verde se alinea con esta ley, al evitar la quema y reducir la emisión de gases contaminantes.

### **2. Reglamento para el Manejo de Desechos Peligrosos (2002)**

Este reglamento define los procedimientos para la gestión adecuada de residuos peligrosos, como aceites usados, baterías y filtros, que son generados por el mantenimiento de maquinaria agrícola.

#### **Aplicación en la cosecha mecanizada:**

- ✓ Regula la disposición de aceites y fluidos hidráulicos usados para evitar la contaminación de suelos y fuentes de agua.

- ✓ Obliga a las empresas agrícolas a utilizar contenedores especializados y disponer los residuos en centros autorizados.

#### **Impacto en la operación:**

Cumplir con esta normativa garantiza que la mecanización no genere contaminación por residuos peligrosos.

### **3. Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje (2017)**

Esta ley promueve la reducción, reutilización y reciclaje de materiales, y establece obligaciones para empresas en cuanto a la gestión responsable de residuos.

#### **Aplicación en la cosecha:**

- ✓ Incentiva el uso de residuos agrícolas, como las hojas y tallos de la caña, para la generación de biomasa o compost.
- ✓ Exige la separación y recolección adecuada de residuos sólidos generados en la operación.

#### **Impacto en la cosecha en verde:**

El aprovechamiento de biomasa residual contribuye a una agricultura más sostenible, alineada con los principios de esta ley.

### **4. Reglamento General de Emisiones Atmosféricas (2014)**

Este reglamento establece los límites máximos permitidos de emisiones para actividades industriales y agrícolas, con el objetivo de reducir la contaminación del aire.

#### **Aplicación en la cosecha:**

- ✓ Controla las emisiones generadas por la maquinaria utilizada en la cosecha mecanizada.

- ✓ Establece sanciones por emisiones que excedan los límites permitidos.

#### **Beneficio del corte en verde:**

La eliminación de la quema de caña evita emisiones masivas de CO<sub>2</sub> y otros gases contaminantes, alineándose con las metas de reducción de emisiones del país.

### **5. Normas para la Gestión del Agua y Recursos Hídricos**

El manejo adecuado del agua es esencial en las operaciones agrícolas. Estas normas regulan el uso y la protección de los cuerpos de agua.

#### **Aplicación en la cosecha:**

- ✓ Exige un uso eficiente del agua en la irrigación y en las operaciones de mantenimiento de maquinaria.
- ✓ Prohíbe vertidos de aceites o fluidos contaminantes en ríos o acuíferos.

#### **Impacto en la mecanización:**

La eficiencia operativa y la prevención de derrames son clave para cumplir con estas normativas.

### **6. Normas ISO 14001 para la Gestión Ambiental**

Si bien estas normas no son de cumplimiento obligatorio, muchas empresas agrícolas buscan implementarlas para mejorar su gestión ambiental y alinearse con las mejores prácticas internacionales.

#### **Aplicación en la cosecha mecanizada:**

- ✓ Fomenta la adopción de sistemas de gestión ambiental para reducir el impacto ecológico.
- ✓ Promueve auditorías ambientales y el cumplimiento de objetivos sostenibles.

## **7. Prohibición de la Quema en Áreas Urbanas y Semiurbanas**

Aunque la quema de caña todavía se permite en ciertas áreas rurales, existen restricciones estrictas en áreas urbanas y semiurbanas para evitar afectaciones a la salud pública.

### **Aplicación en la cosecha:**

- ✓ La mecanización con corte en verde se presenta como una solución para evitar conflictos regulatorios y minimizar riesgos para la salud.

### **Proyecciones para los derrames de aceite**

El cuidado del medio ambiente es una responsabilidad fundamental en las operaciones agrícolas modernas, especialmente cuando se trata de maquinaria pesada que utiliza componentes hidráulicos. Los derrames de aceite durante fallas de estos sistemas son unos de los principales problemas ambientales ya que no solo afectan la eficiencia operativa, sino que también pueden generar contaminación significativa en los suelos y cuerpos de agua cercanos. Para mitigar este impacto, se ha realizado un análisis exhaustivo de los eventos durante la zafra 23/24 asociados a componentes hidráulicos donde se producen derrames de aceite. La reducción de estos eventos, proyectada entre un 25% y un 40%, no solo resultará en un ahorro de aceite, sino que también tendrá un impacto positivo en la protección del medio ambiente. Este análisis contribuye directamente a la evaluación ambiental del plan de mantenimiento, subrayando la importancia de la sostenibilidad y el uso eficiente de los recursos.

Tabla 40. Eventos de componentes del sistema hidráulico afectados ocasionando derrames de aceite

Componente Afectado	Número de Eventos
Cilindro hidráulico	78
Manguera hidráulica	92
Motor hidráulico	55
<b>Total</b>	<b>225</b>

Descripción del Material	Galones Usados
ACEITE MINERAL DELO 400 MGX SAE15W40	2337.78

<b>Galones/Evento</b>	<b>10.4</b>
-----------------------	-------------

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de reducción de los eventos debería estar vinculado al nivel de implementación del plan de mantenimiento planteado en el proyecto, la calidad de las piezas utilizadas, las condiciones operativas y la capacitación del personal. En general, se establece un rango de reducción entre el 20% y el 40%, dependiendo de estos factores.

Tabla 41. Resumen de reducción de derrames de aceite con la implementación del plan

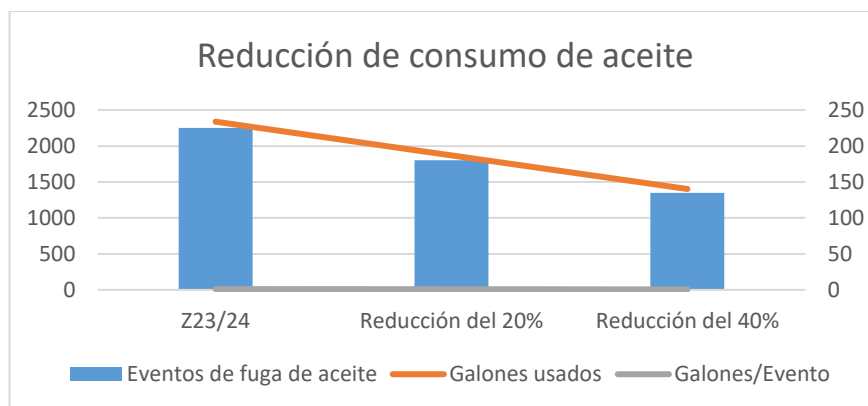
Descripción	Z23/24	Reducción del 20%	Reducción del 40%
Eventos de fuga de aceite	225	180.0	135.0
Galones usados	2337.78	1870.2	1402.7
Galones/Evento	10.4	8.3	6.2

Fuente: Elaboración propia.

La tabla presentada muestra una estimación del consumo de aceite en función del número de eventos de fuga registrados en el periodo Z23/24, así como proyecciones de reducción en el número de eventos y el uso de aceite, tomando en cuenta posibles mejoras en

los sistemas críticos. En la columna inicial se observa que, durante el periodo, se registraron 225 eventos de fuga de aceite, con un consumo total de 2337.78 galones, lo que implica un consumo promedio de 10.4 galones por evento. Las siguientes columnas proyectan los ahorros potenciales si se lograran reducciones del 20% y 40% en el número de eventos, lo cual es factible con la implementación del plan de mantenimiento. Con una reducción del 20%, el consumo total de aceite disminuiría a 1870.2 galones, mientras que con una reducción del 40%, se estima que el consumo sería de solo 1402.7 galones. Estas reducciones tendrían un impacto significativo tanto en el ahorro de insumos como en la mitigación del impacto ambiental, derivado de menos derrames y fugas.

*Grafica 16. Reducción de los derrames de aceite en campo*



*Fuente: Elaboración propia.*

### **Medidas Ambientales y Plan de Gestión Ambiental**

Las medidas de mitigación son una herramienta de planificación que establece lineamientos y procedimientos para manejar los potenciales impactos ambientales del proyecto en ejecución. Este programa de medidas presenta la guía del proyecto sobre la estrategia del manejo ambiental, procedimiento especializado, de construcción ambiental, prevención y control de impactos ambientales.

Las medidas tienen por finalidad evitar, disminuir o reducir los efectos adversos del proyecto o actividad. Consisten en modernizar, rediseñar y elegir alternativas tecnológicas a nivel de diseño y operación, así como todas las acciones tendientes a minimizar hasta niveles aceptables, de acuerdo a las normativas vigentes y a criterios de protección, los efectos adversos de un proyecto sobre el medio ambiente.

A continuación, se presentan detalladas algunas de las mejoras en cuanto a la aplicación del RCM para la cosecha mecanizada en relación a beneficios ambientales.

### **Plan de manejo de maquinaria de campo**

**Objetivo:** realizar uso adecuado de la maquinaria y el equipo y a la vez reducir emisiones y ruido producido

**Meta:** inspeccionar y dar mantenimiento constante a la maquinaria y equipo de campo

**Indicador:** porcentaje de cumplimiento de mejoras señaladas y resultados de emisiones. Descripción del plan

El plan de manejo de maquinaria de campo ha sido elaborado para definir las acciones que prevengan la contaminación del ambiente, específicamente el suelo la atmosfera y el agua por actividades relacionadas con el diseño, uso y el mantenimiento de las maquinarias.

La siguiente tabla muestra los componentes del Plan de manejo de maquinaria de campo.

Cuadro 32. Plan de manejo de maquinaria en campo

		<b>Plan de manejo de maquinaria de campo</b>			<b>Página:</b>
					<b>Código:</b>
					<b>Versión:</b>
<b>Elaborado por:</b>		<b>Aprobado por:</b>			<b>Vigencia:</b>
<b>#</b>	<b>Acción</b>	<b>Plazo</b>	<b>Responsable</b>	<b>Recursos Necesarios</b>	<b>Comentarios</b>
1	Inspección y mantenimiento de la maquinaria y el equipo	Cada seis meses	Jefe de Taller	_____	Llevar el historial de cada equipo para conocer la vida útil y prever la reparación o sustitución del mismo.  Llevar registros del funcionamiento y mantenimiento de cada maquinaria
2	Realizar reparaciones necesarias para reducir ruido y emisiones	Permanente	Jefe de Taller	_____	Registros de reparaciones
3	Controlar horarios para la circulación de maquinaria.	Permanente	Jefe de Taller	_____	
4	Al comprar maquinaria o equipo escoger los que usen energía poco contaminante y tecnología que menos compacte el Suelo.	Permanente	Gerente Agrícola	_____	

5	<p>Taller de mantenimiento y lavado debe contar con todas las debidas condiciones para proteger el medio ambiente.</p>	Permanente	Jefe de Taller	_____	<p>Es recomendable que toda actividad del lavado se realice sobre superficies impermeables (concreto u otras).</p> <p>En el área de cambio de aceite no debe existir ningún drenaje.</p> <p>En el área de lavado de vehículo debe existir un sistema de pretratamiento conformado por un desarenador y un separador de aceites que recoja las aguas de lavado de maquinaria y piezas.</p>
6	<p>Realizar buen manejo de aceites lubricantes</p>		Jefe de Taller		<p>Aceites usados serán recolectados y almacenados en tanques o recipientes herméticos que estén en buenas condiciones.</p> <p>Deben estar debidamente rotulados.</p> <p>El personal del taller debe contar con información necesaria sobre el manejo adecuado de aceites.</p> <p>Deben existir planes o medidas que permitan actuar en caso de derrame o cualquier otro accidente.</p>

*Fuente: Elaboración propia.*

## Impacto de la implementación del plan de mantenimiento propuesto en la seguridad e higiene ocupacional de los operarios

Como se ha mencionado anteriormente, la cosecha mecanizada representa una solución viable y sostenible para sustituir el impacto ambiental que genera la cosecha de caña de azúcar, pero el uso de estas máquinas no deja de representar un riesgo para los trabajadores. Es por ello que a continuación se presenta de forma cuantitativa las mejoras que se proyectan a obtener en materia de seguridad e higiene ocupacional con la implementación del plan planteado.

*Tabla 42. Impacto en la SSO con la implementación del plan*

Categoría	Accidente o incidente	Descripción	Impacto Inicial (Accidentes antes del Plan/año) o (Nivel percibido del agente)	Medidas de Mitigación	Impacto Posterior (Accidentes después del Plan/año) o (Nivel percibido del agente)	Disminución %
Físicos	Colisión con obstáculos	Choque con objetos durante la operación.	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacitación en maniobras seguras.</li> <li>- Uso de cámaras y sensores de proximidad.</li> <li>- Eliminación de obstáculos visibles.</li> </ul>	1	88%
	Vuelco de maquinaria	Riesgo de volcadura en terrenos irregulares.	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planificación de rutas seguras.</li> <li>- Capacitación en control de inclinación.</li> <li>- Establecer límites de velocidad.</li> </ul>	0	100%
	Caída de alturas	Caídas de cosechadoras, tractores u canastas.	25	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacitación sobre riesgos y acciones inseguras.</li> </ul>	5	80%

	Exposición a ruido elevado	Afectación auditiva por maquinaria ruidosa (>85 dB).	Alto: Pérdida auditiva progresiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalación de barreras acústicas.</li> <li>- Uso obligatorio de protectores auditivos.</li> </ul>	Bajo: Reducción de ruido a 70 dB.	N/A
<b>Químicos</b>	Contacto con aceites y fluidos peligrosos	Derrames que contaminan el suelo y agua. Además, generan condiciones inseguras para la operación de la maquinaria.	15	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicación de mantenimientos preventivos.</li> <li>- Cambio de mangueras programados, etc.</li> <li>- Capacitación del personal en identificación y comunicación de incidentes.</li> </ul>	0	100%
	Exposición a pesticidas	Exposición a productos químicos usados en cultivos.	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso adecuado de EPP.</li> <li>- Entrenamiento en manipulación segura.</li> <li>- Colaboración con equipos de campo.</li> </ul>	0	100%
<b>Biológicos</b>	Infecciones por contacto con materia orgánica	Contacto con residuos y materia vegetal que genera infecciones.	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de guantes y ropa protectora.</li> <li>- Protocolos de higiene antes y después de la jornada.</li> </ul>	1	88%
<b>Ergonómicos</b>	Fatiga por jornadas extenuantes	Jornadas de trabajo de más de 12 horas sin descansos adecuados.	17	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementación de turnos rotativos.</li> <li>- Reducción de jornada a 8 horas.</li> <li>- Descansos programados.</li> </ul>	1	94%
	Atrapamiento en partes móviles	Riesgo de atrapamiento en maquinaria sin bloqueo adecuado.	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalación de sistemas de bloqueo.</li> <li>- Capacitación en seguridad, riesgos y acciones inseguras.</li> </ul>	0	100%

<b>Psicosociales</b>	Estrés laboral	Alta carga de trabajo, asignación errónea de funciones, etc.	15	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Promoción del bienestar en el trabajo.</li> <li>- Comunicación efectiva de normas, funciones y condiciones laborales para cada puesto.</li> <li>- Apoyo psicológico cuando sea necesario.</li> </ul>	4	73%
	Trabajo bajo efectos de sustancias psicotrópicas	Riesgo por intoxicación o consumo de alcohol durante la operación.	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pruebas de alcoholemia aleatorias.</li> <li>- Supervisión continua durante las operaciones.</li> </ul>	0	100%
<b>Eléctricos</b>	Contacto con tendidos eléctricos	Electrocución por contacto con líneas eléctricas bajas.	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificación y señalización de redes eléctricas en campo.</li> <li>- Hacer saber al operario previo a la operación todos los obstáculos en el frente de corte.</li> </ul>	0	100%
<b>Incendios</b>	Incendio en maquinaria o campo	Falla en sistemas de combustible o incendios en cultivos.	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementación de mantenimiento RCM.</li> <li>- Supervisar la operación y que todos los trabajadores se involucren en la identificación de conatos de incendio.</li> </ul>	0	100%

*Fuente: Elaboración propia.*

### **Análisis del impacto ambiental**

Para desarrollar el análisis del impacto ambiental se desarrollará una matriz de Leopold modificada para el proyecto. La Matriz de Leopold es una herramienta ampliamente utilizada en la evaluación de impacto ambiental (EIA) por su capacidad de identificar,

cuantificar y evaluar los efectos potenciales de las actividades humanas sobre el medio ambiente. Implementarla en el contexto de un plan de mantenimiento RCM para la cosecha mecanizada de caña de azúcar tiene varias ventajas importantes, ya que permite gestionar de manera estructurada los impactos ambientales derivados de las actividades operativas, asegurando la sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

Para su desarrollo se evaluará la situación antes y después de la implementación del plan donde se someterán a evaluación diferentes factores ambientales según las siguientes características:

**Criterios:** Cada interacción se evaluará en función de intensidad (I) y extensión (E) en una escala del 1 al 5.

- Intensidad: Evalúa la magnitud del impacto (1: Bajo - 5: Muy Alto).
- Extensión: Mide el área afectada (1: Local - 5: Extensa).
- Impacto Total (IT) = Intensidad (I) x Extensión (E)
- Cambio (%) =  $\frac{(\text{Impacto antes de iniciar el plan} - \text{Impacto posterior a implementar el plan})}{\text{Impacto antes de iniciar el plan}} \times 100$

## Rangos de Juicio del Impacto Ambiental

Cuadro 33. Rango de juicio del impacto ambiental

Reducción del Impacto Total (%) / Mejora	Juicio del Impacto	Descripción	Acción Requerida
<b>Genera mejora ambiental</b>	<b>Positivo</b>	El impacto de las acciones no solo mitiga efectos negativos, sino que mejora condiciones ambientales, económicas o sociales respecto al estado previo.	Promover y extender la acción para maximizar el beneficio.
<b>51% - 100%</b>	<b>Compatible</b>	El impacto residual es mínimo o insignificante, sin comprometer la sostenibilidad del proyecto.	Monitoreo básico. No se requieren acciones adicionales.
<b>26% - 50%</b>	<b>Moderado</b>	Se ha logrado una reducción significativa, pero persisten efectos residuales que podrían ser gestionables con medidas adicionales.	Seguimiento continuo y mejoras adicionales.
<b>0% - 25%</b>	<b>No Significativo</b>	El impacto persiste y puede comprometer el entorno o la sostenibilidad. La intervención del plan no fue efectiva para mitigar los efectos esperados.	Acciones correctivas inmediatas.

Fuente: Elaboración propia.

## Desarrollo de la matriz

Tabla 43. Matriz de Leopold para evaluación del impacto ambiental del plan

Matriz de Leopold Adaptada para Evaluación Ambiental del Plan de Mantenimiento basado en RCM para Cosecha Mecanizada de caña de azúcar									
Factores ambientales		Impacto Ambiental						Resultados	
		Antes de implementar el plan			Posterior a implementar el plan				
General	Específico	Intensidad	Extensión	Impacto total	Intensidad	Extensión	Impacto total	Cambio (%)	Juicio
Flora y Fauna	Pérdida de Hábitats Diferentes tipos de plantas y animales)	4	4	16	2	3	6	62.50%	Compatible
Atmosfera	Calidad del Aire (Polvos, olores, gases)	4	5	20	2	3	6	70%	Compatible
	Ruido	5	5	25	3	4	12	52%	Compatible
Características físicas y químicas	Contaminación del Agua	3	4	12	2	3	6	50%	Moderado
	Erosión del Suelo y Contaminación de este.	3	4	12	2	3	6	50%	Moderado
	Uso de Recursos (Agua y Energía)	4	4	16	2	3	6	62.50%	Compatible
Estatus cultural	Disponibilidad Mecánica	4	5	20	2	3	6	70%	Compatible
	Riesgo de Incendios	5	5	25	1	2	2	92%	Compatible
	Generación de Residuos	5	5	25	3	3	9	64%	Compatible
	Mejora de empleo y SSO	5	5	25	1	2	2	92%	Compatible

Fuente: Elaboración propia.

## Interpretación

### 1. Calidad del Aire

Durante las operaciones de cosecha mecanizada, las emisiones de gases contaminantes como CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y material particulado (PM) son comunes debido al uso intensivo de maquinaria a combustión.

Antes de la implementación del plan, la maquinaria operaba sin una gestión eficiente del mantenimiento, generando mayores emisiones. Con el mantenimiento preventivo, se optimizan sus sistemas, reduciendo significativamente las emisiones.

## **2. Contaminación del Agua**

La operación de maquinaria puede generar contaminación de fuentes de agua por derrames de aceites, combustibles o fluidos hidráulicos. El manejo incorrecto de residuos peligrosos también puede provocar infiltraciones al suelo y cuerpos de agua.

Sin un control adecuado, los fluidos mal dispuestos impactan fuentes hídricas locales. La implementación del plan incluye protocolos de gestión de residuos y derrames, reduciendo la contaminación, ya que el mantenimiento preventivo pretende solucionar los derrames de aceite.

## **3. Ruido**

Las máquinas agrícolas generan niveles altos de ruido, lo que puede afectar tanto a los trabajadores como a las comunidades cercanas. El ruido constante puede causar estrés auditivo y problemas de salud.

Antes del plan, no se habían aplicado medidas de control de ruido. Con la implementación, se programan mantenimientos en horarios adecuados y se utilizan tecnologías para reducir la emisión sonora.

## **4. Erosión del Suelo**

La operación de maquinaria pesada compacta el suelo, disminuyendo su capacidad para retener agua y nutrientes, lo que aumenta la erosión y afecta la fertilidad del terreno.

Sin mantenimiento adecuado, la maquinaria puede operar con eficiencia reducida, incrementando el uso del suelo y la erosión. El plan RCM optimiza el desempeño, reduciendo la necesidad de intervenciones intensivas en áreas sensibles.

### **5. Pérdida de Hábitats**

La expansión de las áreas de cosecha puede llevar a la destrucción de hábitats naturales y biodiversidad, especialmente en zonas no cultivadas cercanas a campos de caña.

La falta de planificación puede causar mayores afectaciones a la vegetación. Con el mantenimiento eficiente, se minimiza el tiempo operativo en zonas críticas y se evita la intervención innecesaria.

### **6. Disponibilidad Mecánica de los Equipos**

La disponibilidad mecánica mide la proporción de tiempo que los equipos están operativos y disponibles para su uso. La baja disponibilidad afecta la eficiencia de la cosecha y puede causar interrupciones en las operaciones.

Sin un mantenimiento eficiente, los equipos presentan más paros no programados. El plan RCM incrementa la disponibilidad mediante mantenimiento preventivo, reduciendo los tiempos de inactividad.

### **7. Uso de Recursos (Agua y Energía)**

La maquinaria agrícola requiere recursos como agua para refrigeración o limpieza, y energía en forma de combustibles fósiles. Un consumo excesivo aumenta la huella ecológica.

Antes de la implementación del plan, el consumo era elevado por ineficiencia en los equipos. Con el plan RCM, se optimiza el uso de recursos, reduciendo tanto el consumo de combustible como de agua.

### **8. Generación de Residuos**

Las actividades de mantenimiento generan residuos peligrosos como aceites usados, filtros, baterías y lubricantes que, si no se gestionan correctamente, representan riesgos ambientales.

La ausencia de un plan adecuado lleva a la acumulación y mal manejo de residuos. El RCM incluye un protocolo de disposición segura, minimizando el impacto ambiental.

### **9. Riesgo de Incendios**

La operación de maquinaria en terrenos secos aumenta el riesgo de incendios, especialmente en temporadas de alta temperatura. Un mantenimiento deficiente de los equipos incrementa la probabilidad de fallos mecánicos que podrían originar incendios.

Sin un plan de mantenimiento, los equipos pueden sobrecalentarse y generar incendios. Con el RCM, se minimizan estos riesgos mediante revisiones periódicas y el uso de equipos en buen estado.

### **10. Empleo y SSO**

La implementación de planes eficientes tiene impacto social al mantener los niveles de empleo, mejorando las condiciones laborales y generando condiciones seguras para los operarios.

Antes de la implementación, las condiciones laborales eran menos estables por los paros no programados. El RCM mejora la eficiencia operativa, garantizando un flujo de trabajo continuo y empleos más estables. Esto a su vez se traduce en menos estrés y otras enfermedades que afectan a los trabajadores.

### **Seguimiento**

El seguimiento del plan de mantenimiento basado en RCM para la cosecha mecanizada de caña de azúcar es fundamental para asegurar su correcta implementación y

ejecución. Un sistema de seguimiento efectivo permite evaluar el rendimiento de los procesos, el cumplimiento de las metas estratégicas, ambientales y ocupacionales, y la detección temprana de desviaciones que requieren acciones correctivas.

Para este caso se presentarán indicadores KIP'S, así como matrices de seguimiento para la implementación y ejecución del proyecto.

### **Implementación**

*Cuadro 34. Indicadores KIP'S para la implementación*

<b>Indicador KIP</b>	<b>Fórmula</b>
Cumplimiento del cronograma de implementación (%)	$(\text{actividades completadas/planificadas}) \times 100$
Capacitación del personal (%)	$(\text{personal capacitado/total planificado}) \times 100$
Disponibilidad de equipos para implementación (%)	$(\text{equipos listos/equipos requeridos}) \times 100$
Eficiencia en gestión de recursos (%)	$(\text{recursos usados/recursos planificados}) \times 100$
Cumplimiento de gestión ambiental (%)	$(\text{medidas ambientales implementadas/planificadas}) \times 100$
Control de costos (%)	$(\text{costos reales/costos estimados}) \times 100$
Tiempo promedio de preparación (horas)	tiempo total de preparación/n° de actividades
Satisfacción del equipo de implementación (%)	$(\text{encuestas positivas/total de encuestas}) \times 100$
Cumplimiento de adquisiciones (%)	$(\text{equipos adquiridos/equipos planificados}) \times 100$

*Fuente: Elaboración propia.*

### **Matriz de seguimiento de implementación**

Tabla 44. Matriz de seguimiento de la implementación

MATRIZ DE SEGUIMIENTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO "PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM"											Versión 1
Datos generales de la evaluación					Aplicado por:					Año	
Indicador KPI	Frecuencia	Responsable	Meta	Acción Correctiva	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Observaciones
Cumplimiento del Cronograma de Implementación (%)	Mensual	Director de proyecto	100%	Reasignar tareas y ajustar cronograma.							
Capacitación del Personal (%)	Mensual	Encargado Recursos Humanos	100%	Programar sesiones adicionales.							
Disponibilidad de Equipos para Implementación (%)	Mensual	Director de proyecto	≥ 95%	Acelerar reparaciones o adquisiciones.							
Eficiencia en Gestión de Recursos (%)	Mensual	Director de proyecto	≤ 100%	Optimizar y limitar el uso de recursos.							
Cumplimiento de Gestión Ambiental (%)	Mensual	Director de proyecto	≥ 90%	Realizar auditorías adicionales.							
Control de Costos (%)	Mensual	Director de proyecto	≤ 100%	Revisar presupuestos y reducir gastos.							
Tiempo Promedio de Preparación (horas)	Mensual	Director de proyecto	≤ 8 horas por actividad	Mejorar la eficiencia operativa.							
Satisfacción del Equipo de Implementación (%)	Mensual	Encargado Recursos Humanos	≥ 85%	Identificar problemas y ajustar condiciones.							
Cumplimiento de Adquisiciones (%)	Mensual	Encargado de Adquisiciones	100%	Revisar proveedores y negociar tiempos.							

## Matriz de seguimiento de ejecución

Cuadro 35. Indicadores KIP'S para la ejecución

Indicador	Fórmula
Número de Colaboradores Capacitados	Total, de trabajadores capacitados en el periodo
Número de Paros en Sistemas Críticos	Total, de interrupciones en sistemas críticos por trimestre
Disponibilidad Mecánica de Cosechadoras (%)	$(\text{Tiempo Operativo} / \text{Tiempo Programado}) \times 100$
Tiempo Operativo Total (horas)	Horas acumuladas por equipo en el periodo
Índice de Cumplimiento del Mantenimiento (%)	$(\text{Mantenimiento Realizado} / \text{Mantenimiento Planificado}) \times 100$
Número de Fallas por Equipo	Total, de fallas detectadas por tipo de maquinaria
Tasa de Reincidencia de Fallos (%)	$(\text{Fallos Recurrentes} / \text{Fallos Totales}) \times 100$
Tiempo Promedio de Paro (horas)	Tiempo Total de Paros / Número de Paros
Tasa de Respuesta ante Fallos (%)	$(\text{Respuestas en Tiempo} / \text{Fallos Totales}) \times 100$
Cumplimiento del Programa de Inspección (%)	$(\text{Inspecciones Realizadas} / \text{Inspecciones Planificadas}) \times 100$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45. Matriz de seguimiento de la ejecución

MATRIZ DE SEGUIMIENTO DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO "PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM"											Versión 1
Datos generales de la evaluación					Aplicado por:					Año	
Indicador KPI	Frecuencia	Responsable	Meta	Acción Correctiva	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Observaciones
Número de Colaboradores Capacitados	Mensual	Jefe de Recursos Humanos	100%	Programar más sesiones de capacitación.							
Número de Paros en Sistemas Críticos	Mensual	Responsable de Mantenimiento	≤ 5	Implementar mantenimiento preventivo.							
Disponibilidad Mecánica de Cosechadoras (%)	Mensual	Jefe de Mantenimiento	≥ 95%	Reprogramar mantenimientos adicionales.							
Tiempo Operativo Total (horas)	Mensual	Responsable de cosecha	Máximo posible	Optimizar programación operativa.							
Índice de Cumplimiento del Mantenimiento (%)	Mensual	Responsable de Mantenimiento	100%	Reasignar tareas y personal.							
Número de Fallos por Equipo	Mensual	Jefe de Mantenimiento	≤ 2 por equipo	Revisar y ajustar protocolos de mantenimiento.							
Tasa de Reincidencia de Fallos (%)	Mensual	Responsable de Mantenimiento	≤ 10%	Implementar análisis de causas raíz (RCA).							
Tiempo Promedio de Paro (horas)	Mensual	Responsable de cosecha	≤ 2 horas por paro	Reducir tiempos de diagnóstico y reparación.							
Tasa de Respuesta ante Fallos (%)	Mensual	Responsable de Mantenimiento	≥ 90%	Capacitación adicional para el personal.							
Cumplimiento del Programa de Inspección (%)	Mensual	Responsable de SSO	100%	Programar inspecciones adicionales.							

Fuente: Elaboración propia.

## **Análisis según evaluaciones económico y ambiental-social del plan basado en la metodología RCM de mantenimiento de cosecha mecanizada**

Como se ha podido observar según las diferentes evaluaciones que se han desarrollado para poder conocer la viabilidad económica y ambiental-social. Se puede deducir que el proyecto es ampliamente viable ya que al implementarse tendrá grandes beneficios económicos para el ingenio en concepto de ahorro y desde el punto ambiental tendrá un gran impacto positivo al reducir la contaminación en los suelos, agua, aire y biodiversidad de manera directa.

Además, como impacto social con el aumento de la disponibilidad mecánica será reducirá la emisión de gases por quema, lo que traerá beneficios para las comunidades. También se proyecta una mejora significativa en la SSO de los colaboradores de cosecha mecanizada. Nuestro principal objetivo en este proyecto es la tecnificación, optimización y aumento de la disponibilidad mecánica sostenible de la cosecha mecanizada, evidenciando con resultados su viabilidad y el gran impacto que esta tiene en relación a productividad, medio ambiente, etc.

## **CONCLUSIONES**

La implementación del Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) permitió identificar y priorizar los sistemas críticos en las cosechadoras, como el conjunto picador, la base cortadora y el sistema hidráulico, los cuales concentran la mayor parte de las fallas y tiempos de inactividad. Esto evidencia la importancia de establecer un enfoque preventivo que permita intervenir de manera anticipada en estos subsistemas y reducir los paros no programados, mejorando así la disponibilidad y eficiencia de la maquinaria en la operación de cosecha.

La metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) desarrollada en esta tesis proyecta una reducción significativa en los tiempos de inactividad de los equipos. Esto se

debe a la adopción de estrategias preventivas y predictivas basadas en datos, que no solo reducen la incidencia de fallas graves, sino que también optimizan el uso de repuestos y recursos humanos. La implementación de este enfoque estructurado no solo impactará la disponibilidad de la maquinaria, sino que también fortalecerá la capacidad del equipo técnico para responder de forma eficiente a las necesidades de mantenimiento.

Las proyecciones económicas realizadas en la evaluación financiera revelan un ahorro estimado del 17% en los costos de mantenimiento anual, equivalente a aproximadamente \$55,000, lo que confirma la viabilidad económica del plan de mantenimiento. La estimación de indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), la relación Costo-Beneficio y la Tasa Mínima Aceptable de Retorno (TMAR) demuestra que el proyecto no solo es rentable, sino también sostenible a largo plazo, representando un beneficio significativo para la empresa en términos de reducción de costos operativos y retorno de la inversión.

La capacitación continua del personal técnico en el uso de herramientas de RCM y en la interpretación del AMEF es crucial para asegurar la sostenibilidad del plan de mantenimiento a lo largo del tiempo. La implementación exitosa del plan no solo depende de la calidad de los procedimientos de mantenimiento, sino también de la habilidad del equipo para anticipar y abordar problemas antes de que se conviertan en fallas graves. Por lo tanto, invertir en el fortalecimiento de las capacidades del personal contribuirá significativamente a la eficiencia y efectividad del plan.

La reducción de los eventos de derrame de aceite y otros contaminantes en los sistemas críticos refleja un impacto positivo en términos ambientales. Al disminuir las fallas de estos sistemas, se proyecta una reducción en el uso de insumos y en los residuos generados, promoviendo prácticas de mantenimiento más sostenibles y alineadas con la responsabilidad ambiental de la empresa.

## RECOMENDACIONES

Implementar un sistema de monitoreo en tiempo real para los sistemas críticos de las cosechadoras, permitiendo la detección temprana de fallas potenciales y la programación de mantenimientos predictivos. La incorporación de sensores y tecnología de telemetría en componentes clave optimizará la planificación del mantenimiento y reducirá el riesgo de fallas imprevistas, garantizando una mayor disponibilidad de la maquinaria durante la zafra.

Establecer un programa de capacitación continua para el personal técnico en prácticas de mantenimiento centrado en la confiabilidad y el uso de herramientas de diagnóstico predictivo. Esto contribuirá a que el equipo esté capacitado para identificar patrones de fallas y tomar decisiones informadas durante las intervenciones en campo, reforzando la sostenibilidad del plan de mantenimiento y su impacto positivo en la operación.

Desarrollar un sistema de documentación estructurado que permita registrar cada actividad de mantenimiento, sus costos, tiempos de inactividad y resultados. Esta información será clave para evaluar la efectividad del plan de mantenimiento en el tiempo, facilitando el análisis de tendencias y el ajuste de estrategias conforme la maquinaria envejezca o cambien las condiciones operativas.

Realizar una revisión anual del plan de mantenimiento para evaluar su rendimiento y hacer los ajustes necesarios en función de los datos obtenidos durante el periodo. Este proceso de revisión permitirá identificar mejoras continuas en el plan y asegurar que el enfoque preventivo siga alineado con las necesidades reales de los equipos, ajustando intervalos de mantenimiento, recursos y enfoque según los resultados observados.

Establecer indicadores clave de desempeño (KPI'S) que permitan monitorear la eficiencia del plan de mantenimiento en aspectos como la reducción de tiempos de inactividad, los costos de mantenimiento y la frecuencia de fallas en sistemas críticos. Estos kepis deben ser revisados

periódicamente y comparados con los objetivos proyectados, proporcionando una base cuantitativa para evaluar la efectividad del plan y realizar mejoras continuas.

## GLOSARIO

**Mantenimiento:** se define como todas aquellas acciones que tienen por objetivo mantener un equipo en buen estado o restaurarlo aún estado en el que pueda llevar a cabo alguna función requerida, en donde será necesario la combinación de acciones técnicas y administrativas.

**Mantenimiento de maquinaria:** Podemos entender por mantenimiento de maquinaria el conjunto de actividades o tareas que se realizan para llegar al óptimo funcionamiento de las máquinas y equipos de los distintos espacios de trabajo que componen la actividad empresarial.

**Confiabilidad:** La confiabilidad en la gestión del mantenimiento, según la norma NBR-5462, se entiende como el porcentaje o probabilidad de un correcto funcionamiento, dentro de un determinado período de tiempo, de las máquinas, sistemas y/o ítems incluidos en la cadena de producción.

**Confiabilidad Operacional:** Capacidad de una instalación (infraestructura, personas, tecnología) para cumplir su función (haga lo que se espera de ella), y en caso de que falle, lo haga del modo menos dañino posible. Una instalación fiable debe incluir tanto continuidad operacional como control de riesgos.

**Mantenimiento centrado en la confiabilidad:** metodología eficaz utilizada para identificar todas las posibles causas que puedan provocar un fallo parcial o total en el sistema.

**Falla oculta:** Se llama así a la falla no detectable por los operarios bajo circunstancia normales, haría falta un procedimiento para ser detectado.

**AMEF:** Análisis del Modo y Efecto de Fallas, es un procedimiento que permite identificar diferentes tipos de falla ya sea en procesos, sistemas y productos, también permite evaluar, clasificar y documentar de manera objetiva sus efectos, causas y elementos de identificación para evitar su ocurrencia y tener métodos de prevención.

## BIBLIOGRAFÍA

- **GOMEZ DE LEON, FELIX CESAREO.** *Tecnología del mantenimiento industrial.* España : servicio de publicaciones universidad de murcia, 1998.
- **Tuleoconsulting JD CH570.** [www.tuleoconsulting.com](http://www.tuleoconsulting.com). [En línea] Abril de 2014. [Citado el: 06 de Agosto de 2023.] <http://www.tuleoconsulting.com/africa/files/2014/03/Sugar-Cane-Harvester.3520.English.Thibodaux-Brochure.pdf>.
- **Tuleoconsulting JD3520.** [www.tuleoconsulting.com](http://www.tuleoconsulting.com). [En línea] 2 de Abril de 2015. [Citado el: 05 de 08 de 2023.] <https://www.tuleoconsulting.com/africa/files/2015/10/CH570-Brochure-English-Final-April-2-2015.pdf>.
- **cnh industrial A8810.** [assets.cnhindustrial.com](https://assets.cnhindustrial.com). [En línea] Agosto de 2018. [Citado el: 07 de Agosto de 2023.] <https://assets.cnhindustrial.com/caseih/emea/EMEAASSETS/Products/Harvesting/Austoft-8010-and-8810-sugar-cane-harvesters/Brochure/Austoft%208010%20and%208810%20sugar%20cane%20harvesters.pdf>.
- **CENGICAÑA.** *Informe Anual 2021-2022.* Guatemala : s.n., 2022. 2519-5026.


- **Metagro.** metagro.net. [En línea] 2023. [Citado el: 07 de 08 de 2023.]  
<https://www.metagro.net/>.
- **Etecé.** Concepto. [En línea] 05 de Agosto de 2021. [Citado el: 04 de Agosto de 2023.]  
<https://concepto.de/mantenimiento-correctivo/#ixzz85h0W9fin>.
- **Westreicher-Mantenimiento, Guillermo.** Economipedia. [En línea] 01 de Diciembre de 2020. [Citado el: 02 de Julio de 2023.]  
<https://economipedia.com/definiciones/mantenimiento.html>.
- **Palencia, Oliverio García.** <https://repositorio.uptc.edu.co/>. [En línea] [Citado el: 01 de Agosto de 2023.] <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/1297/RED-70.pdf;jsessionid=E139931624513B21712A416048A407EE?sequence=1>.
- **Autoridad de Aviación Civil.** <https://www.aac.gob.sv/>. [En línea] 13 de Mayo de 2019. [Citado el: 20 de Julio de 2023.] <https://www.aac.gob.sv/wp-content/uploads/2017/01/RAC-OPS-1-Ed.-02-Rev-01.pdf>.
- **Lagos-Burbano, Elizabeth.** Universidad de Costa Rica. [En línea] Febrero de 2019. [Citado el: 17 de Julio de 2023.]  
<https://www.redalyc.org/journal/437/43760145020/html/>.
- **Traube, Federico.** <https://repositorio.ulacit.ac.cr/>. [En línea] [Citado el: 18 de Julio de 2023.]  
<https://repositorio.ulacit.ac.cr/bitstream/handle/123456789/5326/030586.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- **azucarera, Legislación El Salvador - Ley transitoria de ordenamiento de la agroindustria.** <https://www.fao.org/>. [En línea] 08 de Agosto de 2001. [Citado el: 20 de Julio de 2023.] <https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC035550/>.

- **(RCM), Jesus Sifonte - Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.** DOCUMENTOS TÉCNICOS. [En línea] 2022. [Citado el: 28 de Julio de 2023.] <https://esp.reliabilityconnect.com/norma-sae-ja1011-criterios-de-evaluacion-para-procesos-de-mantenimiento-centrado-en-confiabilidad-rcm/>.
- **Gestión de la confiabiGuía de aplicación. Mantenimiento centrado en la fiabilidad.** <https://www.une.org/>. [En línea] 07 de 31 de 2013. [Citado el: 26 de Julio de 2023.] <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0051579>.
- **Solutions, Lean.** AMEF, Análisis de Modo y Efecto de la Falla. [En línea] 15 de Mayo de 2015. [Citado el: 18 de Julio de 2023.] <http://www.leansolutions.co/conceptos/amef/>.
- **Linares.** *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para motores de camiones. Scania para aumentar su disponibilidad y reducir los costos de operación en la empresa Bustruck S.A.C.* Trujillo-Perú : Universidad Cesar Vallejo, Trujillo-Perú, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, 2014.
- **Martínez, Juan.** *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa L&L.* Barranquilla-Colombia : s.n., 2014.
- **1011, Norma SAE JA.** Guide to the Reability – Centered Maintenance (RCM) Standard. [En línea] 22 de Agosto de 2011. [Citado el: 17 de Agosto de 2023.] [www.sae.org](http://www.sae.org).
- **Olives, Ramón.** Mantenimiento preventivo. [En línea] 14 de Abril de 2010. [Citado el: 28 de Julio de 2023.] [http://treball.gencat.cat/web/.content/09\\_\\_seguretati\\_salut\\_laboral/publicacions/imatges/qp\\_manteniment\\_preventiu\\_cast.pdf](http://treball.gencat.cat/web/.content/09__seguretati_salut_laboral/publicacions/imatges/qp_manteniment_preventiu_cast.pdf).

- **Renovetec.** Ingeniería del Mantenimiento. Plan de mantenimiento basado en el RCM. *Renove Tecnología S.L.* [En línea] 2009. [Citado el: 20 de Julio de 2023.] <http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/17-plan-de-mantenimiento-basado-en-rcm>.
- **Gutiérrez, A. Mora.** *Mantenimiento industrial efectivo.* Medellín-Colombia : Coldi, 2009.
- <https://www.blog-qhse.com/es/amef-evaluacion-de-riesgos-y-calidad-en-una-sola-herramienta>

## ANEXOS


*Anexo 1. Ficha técnica de encuesta que se realizó para conocer la situación actual en los ingenios del país.*

	<b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL</b>  <b>FICHA TÉCNICA DE ENCUESTA</b>
Universo:	Los seis ingenios azucareros de El Salvador: GRUPO CASSA (Central Izalco y Chaparrastique), La Cabaña, La Magdalena, El Ángel, y Jiboa.
Objetivo del estudio:	Determinar la disponibilidad operativa de la maquinaria, su participación de molida, las técnicas de mantenimiento utilizadas y el nivel de conocimiento que tengan sobre otras técnicas de mantenimiento en la función de la cosecha mecanizada del sector azucarero.
Tipo de investigación:	Cuantitativa
Tiempo de realización de trabajo de campo:	El trabajo de campo se realizará en tres (3) días.
Técnica de recolección de datos:	Encuesta poblacional en línea dirigida a Jefes de Operación de Cosecha Mecanizada de todos los ingenios azucareros del país.
Encuesta realizada por:	José Manuel Torres, Roxana Lipe y Daniel Gonzales.
Fecha de trabajo de campo:	Del 28 al 30 de junio de 2023
No. De preguntas:	Diecisiete (17)
Tipo de preguntas aplicadas:	siete (7) cerradas, cinco (5) abiertas y cinco (5) de opción múltiple.
N°	<b>PREGUNTAS</b>
1	¿En qué ingenio labora actualmente? <input type="checkbox"/> Grupo CASSA <input type="checkbox"/> Ingenio El Ángel <input type="checkbox"/> Ingenio La Magdalena <input type="checkbox"/> Ingenio Jiboa <input type="checkbox"/> Ingenio La Cabaña
2	¿Qué puesto desempeña en la organización? R/ _____

4	¿Cuántas cosechadoras de caña tiene el ingenio para la labor de cosecha mecanizada? R/ _____
5	¿Qué porcentaje de disponibilidad operativa tienen las cosechadoras? <input type="checkbox"/> Menor o igual a 70 % <input type="checkbox"/> Entre 71 % y 80 % <input type="checkbox"/> Entre 71 % y 90 % <input type="checkbox"/> Más de 90 %
6	¿Cuáles son los sistemas o componentes que más afectan la disponibilidad operativa de la cosechadora? <input type="checkbox"/> Sistema Despuntador <input type="checkbox"/> Elevador de caña <input type="checkbox"/> Base cortadora <input type="checkbox"/> Motor de combustión interna <input type="checkbox"/> Rodos alimentadores <input type="checkbox"/> Extractores de bajera <input type="checkbox"/> Conjunto picador <input type="checkbox"/> Sistema de rodaje
7	¿Qué tipos de mantenimiento realizan a la maquinaria de cosecha mecanizada durante la época de Zafra? <input type="checkbox"/> Mantenimiento preventivo <input type="checkbox"/> Mantenimiento correctivo <input type="checkbox"/> Mantenimiento predictivo <input type="checkbox"/> Todos los anteriores
8	¿Con qué frecuencia realizan el mantenimiento preventivo rutinario a la maquinaria? <input type="checkbox"/> 10 horas de trabajo <input type="checkbox"/> Dos veces al día <input type="checkbox"/> Diariamente <input type="checkbox"/> 2 días
9	¿Con qué frecuencia realizan el mantenimiento programado a la maquinaria? <input type="checkbox"/> 100 horas <input type="checkbox"/> 600 horas <input type="checkbox"/> 200 horas <input type="checkbox"/> 800 horas <input type="checkbox"/> 300 horas <input type="checkbox"/> 1000 horas <input type="checkbox"/> 400 horas <input type="checkbox"/> 1200 horas <input type="checkbox"/> 500 horas
10	¿Con qué frecuencia realizan el mantenimiento mayor a la maquinaria? <input type="checkbox"/> 2000 horas <input type="checkbox"/> Trimestral <input type="checkbox"/> Anual <input type="checkbox"/> 2 años

11	<p>¿Quiénes son los encargados de realizar el mantenimiento?</p> <p><input type="checkbox"/> Mecánicos <input type="checkbox"/> Eléctricos</p> <p><input type="checkbox"/> Soldadores <input type="checkbox"/> Supervisores de taller</p>
12	<p>Desde el punto de vista administrativo, ¿qué tipo de mantenimiento realiza?</p> <p><input type="checkbox"/> Outsourcing (Tercerizado) <input type="checkbox"/> Insourcing (Interno)</p> <p><input type="checkbox"/> Ambos</p>
13	<p>¿Conoce o practica alguna técnica de mantenimiento en la maquinaria además del enfoque preventivo, predictivo y correctivo? ¿Cómo se llama?</p> <p>R/ _____</p>
14	<p>Dentro de la empresa, ¿Alguna vez ha escuchado del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)?</p> <p><input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No</p>
15	<p>¿En la empresa, se ha puesto en práctica alguna fase del mantenimiento RCM?</p> <p><input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No</p>
16	<p>¿Hasta qué fase se implementó?</p> <p>R/ _____</p>
17	<p>¿Qué le parece este tipo de mantenimiento?</p> <p><input type="checkbox"/> Difícil de ejecutar <input type="checkbox"/> Muy caro</p> <p><input type="checkbox"/> No hay suficiente información <input type="checkbox"/> Bastante útil</p> <p><input type="checkbox"/> Requiere mucho conocimiento teórico <input type="checkbox"/> Bastante uso de repuestos</p> <p><input type="checkbox"/> No es sostenible <input type="checkbox"/> Buenos resultados</p>


Anexo 2. Ficha técnica de entrevista 1.

	<p><b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL</b>  <b>FICHA TÉCNICA DE ENTREVISTA 1</b></p>
<p><b>OBJETIVO:</b></p>	<p>Conocer el proceso actual de mantenimiento enfocado en la maquinaria de cosecha mecanizada para el abastecimiento de caña al ingenio.</p>
<p><b>MÉTODO:</b></p>	<p>La técnica usada ha sido la entrevista semiestructurada, las preguntas están formuladas por el entrevistador, son del tipo abierta de carácter informativo sobre la cosecha mecanizada.</p>
<p><b>FECHA DE REALIZACIÓN:</b></p>	<p>31/7/2023</p>
<p><b>NOMBRE DEL ENTREVISTADO:</b></p>	<p>Ing. José Miguel Contreras</p>
<p><b>PROFESIÓN:</b></p>	<p>Ingeniero Mecánico</p>
<p><b>LUGAR:</b></p>	<p>Instalaciones de Ingenio Central Izalco</p>
<p><b>DURACIÓN:</b></p>	<p>Sin límite establecido, sin embargo, puede durar de 15 a 45 minutos, dependiendo de la profundidad en que se exploren los temas.</p>
<p><b>ENTREVISTADOR:</b></p>	<p>La entrevista ha sido realizada por José Manuel Torres Herrera, estudiante de Ingeniería Industrial en la Universidad de El Salvador.</p>
<p><b>NÚMERO DE ÍTEMS:</b></p>	<p>5</p>
<p><b>PREGUNTAS</b></p>	
<p>1</p>	<p>¿Cómo planifica el mantenimiento a la maquinaria de cosecha mecanizada de caña de azúcar?</p>
<p>2</p>	<p>¿Qué producto se optiene de la planificación?</p>
<p>3</p>	<p>¿Cómo se ejecutan los planes de mantenimiento?</p>
<p>4</p>	<p>¿Hacen ajustes durante la zafra? ¿En función de qué?</p>
<p>5</p>	<p>¿Cuál es el enfoque del mantenimiento que se ejecuta en la maquinaria?</p>

Anexo 3. Ficha técnica de entrevista 2.

	<b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL</b> <b>FICHA TÉCNICA DE ENTREVISTA 2</b>
<b>OBJETIVO:</b>	Conocer las tendencias de producción y operación de maquinaria en el sector agroazucarero desde la perspectiva de la cosecha mecanizada en El Salvador.
<b>MÉTODO:</b>	La técnica usada ha sido la entrevista semiestructurada, las preguntas están formuladas por el entrevistador, son del tipo abierta de carácter informativo sobre la cosecha mecanizada.
<b>FECHA DE REALIZACIÓN:</b>	3/8/2023
<b>NOMBRE DEL ENTREVISTADO:</b>	Ing. Carlos Morales
<b>PROFESIÓN:</b>	Ingeniero Industrial
<b>LUGAR:</b>	Instalaciones de ATASAL
<b>DURACIÓN:</b>	Sin límite establecido, sin embargo, puede durar de 15 a 45 minutos, dependiendo de la profundidad en que se exploren los temas.
<b>ENTREVISTADOR:</b>	La entrevista ha sido realizada por José Manuel Torres Herrera, estudiante de Ingeniería Industrial en la Universidad de El Salvador.
<b>NÚMERO DE ÍTEMS:</b>	7
<b>PREGUNTAS</b>	
1	¿Cuál es la tendencia de la cosecha mecanizada en El Salvador?
2	¿Cuáles son los factores que la impulsan?
3	¿Cuál es el impacto que tiene la cosecha mecanizada en la industria y sector agrícola?
4	¿Cuál es la comparación o relación con la cosecha de caña tradicional o manual?
5	¿Qué aspectos se deben considerar para optimizar la cosecha mecanizada y que sea sostenible?
6	¿Cuántas cosechadoras de caña se tienen actualmente en el país y cuál es la proyección para los próximos años?
7	¿Qué expectativa se tiene de la productividad de caña y el parque cañero del país?

Anexo 4. Ficha técnica de entrevista 3.

	<p><b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL</b>  <b>FICHA TÉCNICA DE ENTREVISTA 3</b></p>
<p><b>OBJETIVO:</b></p>	<p>Conocer la estructura, operación y logística de la maquinaria de cosecha mecanizada dentro del abastecimiento de caña para los ingenios en el país.</p>
<p><b>MÉTODO:</b></p>	<p>La técnica usada ha sido la entrevista semiestructurada, las preguntas están formuladas por el entrevistador, son del tipo abierta de carácter informativo sobre la cosecha mecanizada.</p>
<p><b>FECHA DE REALIZACIÓN:</b></p>	<p>4/8/2023</p>
<p><b>NOMBRE DEL ENTREVISTADO:</b></p>	<p>Ing. Julio Bran</p>
<p><b>PROFESIÓN:</b></p>	<p>Ingeniero Agrónomo</p>
<p><b>LUGAR:</b></p>	<p>Instalaciones de Ingenio Central Izalco</p>
<p><b>DURACIÓN:</b></p>	<p>Sin límite establecido, sin embargo, puede durar de 15 a 45 minutos, dependiendo de la profundidad en que se exploren los temas.</p>
<p><b>ENTREVISTADOR:</b></p>	<p>La entrevista ha sido realizada por José Manuel Torres Herrera, estudiante de Ingeniería Industrial en la Universidad de El Salvador.</p>
<p><b>NÚMERO DE ÍTEMS:</b></p>	<p>4</p>
<p><b>PREGUNTAS</b></p>	
<p>1</p>	<p>¿Cuál es la estructura actual de la organización de cosecha mecanizado y cómo funciona?</p>
<p>2</p>	<p>¿Cuáles son las funciones de cada puesto dentro de esa estructura?</p>
<p>3</p>	<p>Hablando de la operación de cosecha, ¿Cuáles son los componentes más importantes dentro de la cosechadora que son críticos para una buen desempeño y calidad del trabajo?</p>
<p>4</p>	<p>¿Cómo clasificaría esos componentes?</p>

*Anexo 5. Tiempos promedio de procesos de asistencia en campo, proporcionado por taller de Flotas de Maquinaria de un ingenio regional.*



Anexo 6. Manta actual de registro de fallas, proporcionada por taller de flotas y maquinaria de un ingenio de la región

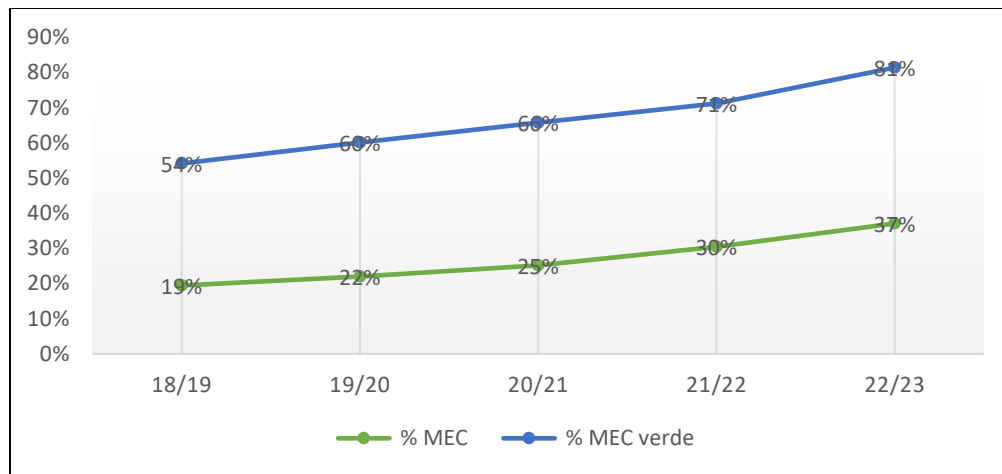
EQUIPO DE MANTTO	DENOMINACIÓN EQUIPO	CENTRO	TIPO MANTTO	HORA SALIDA TM	HORA LLEGADA TM	TIEMPO DE RESPUESTA TM	KM INICIO TM	KM FINAL TM
7300001471	Cosechadora JD CH570T HJMT210451	1000	CORRECTIVO	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0	0
7300000588	Cosechadora de Caña JD 3520 Serie 121219	1000	CORRECTIVO	11:40:00	11:50:00	00:10:00	106418	106420
7300001470	Cosechadora JD CH570T HKMT210450	1000	CORRECTIVO	12:20:00	13:00:00	00:40:00	106420	106433
7300001470	Cosechadora JD CH570T HKMT210450	1000	CORRECTIVO	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0	0
7300001469	Cosechadora JD CH570T HCMT210449	1000	CORRECTIVO	19:00:00	19:00:00	00:00:00	106487	106487
7300001471	Cosechadora JD CH570T HJMT210451	1000	CORRECTIVO	18:05:00	18:55:00	00:50:00	156691	156696
7300000588	Cosechadora de Caña JD 3520 Serie 121219	1000	CORRECTIVO	11:40:00	11:50:00	00:10:00	106418	106420
7300001470	Cosechadora JD CH570T HKMT210450	1000	CORRECTIVO	12:20:00	13:00:00	00:40:00	106420	106433
7300001470	Cosechadora JD CH570T HKMT210450	1000	CORRECTIVO	13:40:00	13:40:00	00:00:00	106433	106433
7300001469	Cosechadora JD CH570T HCMT210449	1000	CORRECTIVO	19:00:00	19:00:00	00:00:00	106487	106487
7300001013	Cosechadora JD 3520 WCCW120789	1000	CORRECTIVO	06:00:00	08:10:00	02:10:00	134123	134155
7300001470	Cosechadora JD CH570T HKMT210450	1000	CORRECTIVO	06:00:00	08:00:00	02:00:00	117258	117271
7300001471	Cosechadora JD CH570T HJMT210451	1000	CORRECTIVO	10:00:00	10:30:00	00:30:00	117292	117297
7300001469	Cosechadora JD CH570T HCMT210449	1000	CORRECTIVO	06:00:00	09:30:00	03:30:00	131227	131297
7300000588	Cosechadora de Caña JD 3520 Serie 121219	1000	CORRECTIVO	20:05:00	20:10:00	00:05:00	117310	117318
7300001470	Cosechadora JD CH570T HKMT210450	1000	CORRECTIVO	06:15:00	08:40:00	02:25:00	117358	117376
7300001469	Cosechadora JD CH570T HCMT210449	1000	CORRECTIVO	12:15:00	13:08:00	00:53:00	117376	117414
7300000588	Cosechadora de Caña JD 3520 Serie 121219	1000	CORRECTIVO	16:00:00	17:00:00	01:00:00	117414	117450
7300000588	Cosechadora de Caña JD 3520 Serie 121219	1000	CORRECTIVO	18:00:00	18:00:00	00:00:00	117450	117450

UBICACIÓN	NOMBRE OPERADOR	HORA INICIO MANTTO	HORA FIN MANTTO	TIEMPO DE MANTTO	TIEMPO DE PARO TOTAL	TIEMPO DE RETORNO
TALLER CI	N/A	9:00:00	12:00:00	03:00:00	03:00:00	00:00
PARAISAL	TOMAS GALICIA	11:50:00	12:15:00	00:25:00	00:35:00	00:00
SANTA EMILIA	WILLIAM DERAS	13:15:00	13:40:00	00:25:00	01:05:00	00:00
TALLER CI	N/A	18:00:00	6:00:00	12:00:00	12:00:00	00:00
SAN CLEMENTE	EMERSON ROBLES	19:00:00	20:50:00	01:50:00	01:50:00	00:00
EUFEMIA	CRISTIAN	19:00:00	19:25:00	00:25:00	01:15:00	00:00
PARAISAL	TOMAS GALICIA	11:50:00	12:15:00	00:25:00	00:35:00	00:00
SANTA EMILIA	WILLIAM DERAS	13:15:00	13:40:00	00:25:00	01:05:00	00:00
SANTA EMILIA	WILLIAM DERAS	13:40:00	15:45:00	02:05:00	02:05:00	00:00
SAN CLEMENTE	EMERSON ROBLES	19:00:00	20:50:00	01:50:00	01:50:00	00:00
EL SHADAI	YENRRI GEOVANI	8:10:00	17:00:00	08:50:00	11:00:00	01:00
SANTA EMILIA	WILLIAM FIGUEROA	8:00:00	10:00:00	02:00:00	04:00:00	00:00
SAN ANTONIO	CRISTIAN JIMÉNEZ	10:30:00	13:00:00	02:30:00	03:00:00	00:00
SANTA TERESA	EMERSON ROBLES	9:30:00	15:30:00	06:00:00	09:30:00	00:00
LA FINCONA	HERIBERTO SHULL	20:10:00	22:00:00	01:50:00	01:55:00	00:00
LA FINCONA	WILLIAM DERAS	8:45:00	12:00:00	03:15:00	05:40:00	00:00
SAN CLEMENTE	IVÁN ROBLES	13:10:00	14:15:00	01:05:00	01:58:00	00:00
EL PARAISAL	EMERSON ROBLES	17:05:00	18:00:00	00:55:00	01:55:00	00:00
EL PARAISAL	N/A	18:00:00	21:00:00	03:00:00	03:00:00	00:30
LA FINCONA	JAIME RIVAS	23:20:00	1:00:00	01:40:00	02:25:00	00:00
SAN ANTONIO	N/A	11:00:00	14:00:00	03:00:00	03:00:00	00:00

Anexo 7. Clasificación de las fallas registradas en sistemas y subsistemas para aplicación de Pareto y análisis de datos.

DETALLE MANTTO	TIPO DE TRABAJO	CLASIFICACIÓN DEL SISTEMA AFECTADO	SUB SISTEMA	COMPONENTE AFECTADO
CONECTAR BATERÍAS Y TOLVAS DE CABINA	Eléctrico	Sistema eléctrico	Sistema de carga	Batería
ENTREGA DE PASADORES PARA PUNTA DE DIVISOR	Mecánico	Recolección	Divisores	Punta de divisor
REVISIÓN DE NIVEL DE ACEITE/ CAJA FUNK	Mecánico	Motor e Hidráulico	Caja Funk	Caja Funk
MONTANDO EJE Y KIT DE EMBRAGUE DE VOLANTE DE INERCIA - MOTOR DE TROZADOR - SE CONECTARON COMPONENTES HIDRÁULICOS - CALIBRACIÓN DE CUCHILLAS SECUNDARIAS - SE CAMBIO ACEITE A BASE TROZADORA - SE CAMBIO MOTOR CHARLYN DE RODOS ALIMENTADORES - SE EMPACO Y CAMBIO MOTOR CHARLYN DE RODOS ALIMENTADORES FLOTANTES	Mecánico	Transporte y picado	Conjunto picador	Embrague
PRESENCIA EN CAMPO DE COSECHA	Mecánico	Cortador de base	Base cortadora	Fusible de base cortadora
DESENTRAMPANDO CUCHILLAS SECUNDARIAS / CAMBIO DE DOS CUCHILLAS SECUNDARIAS	Mecánico	Transporte y picado	Conjunto picador	Cuchilla trozadora
ENTREGA DE PASADORES PARA PUNTA DE DIVISOR	Mecánico	Recolección	Divisores	Punta de divisor
REVISIÓN DE NIVEL DE ACEITE/ CAJA FUNK	Mecánico	Motor e Hidráulico	Caja Funk	Caja Funk
PRESENCIA EN CAMPO DE COSECHA	Mecánico	Cortador de base	Base cortadora	Fusible de base cortadora
PRESENCIA EN CAMPO DE COSECHA	Mecánico	Cortador de base	Base cortadora	Fusible de base cortadora
REVISAR CÓDIGOS DE FALLA NIVELES DE ACEITE HIDRÁULICO Y NIVEL DE REFRIGERANTE LIMPIEZA Y CALIBRACIÓN DE SENSOR HACER PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	Eléctrico	Sistema eléctrico	Sistema eléctrico	Diagnóstico eléctrico
CAMBIO DE LOWER	Mecánico	Limpieza y carga	Extractor primario	Louver
CAMBIO DE LOWER	Mecánico	Limpieza y carga	Extractor primario	Louver
MANTENIMIENTO PREVENTIVO - CAMBIO Y CALIBRACIÓN DE CUCHILLAS SECUNDARIAS - ENTREGA DE CUCHILLAS PRIMARIAS PARA RESERVA - MODIFICACIÓN E INSTALACIÓN DE DEFLECTOR AJUSTABLE DE SISTEMA DE PICADOR	Mecánico	Transporte y picado	Conjunto picador	Cuchilla trozadora
20 CUCHILLAS PRIMARIAS 10 TORNILLOS Y TUERCAS DE 1/2X1	Mecánico	Cortador de base	Base cortadora	Cuchilla primaria
CAMBIO DE UNA CUCHILLA SECUNDARIA/CAMBIO DE BASE DE CUCHILLA SECUNDARIA/CAMBIO DE VÁLVULAS DE SISTEMA DE INCLINACIÓN DE DIVISOR/TENSADO DE CADENA DE ELEVADOR	Mecánico	Transporte y picado	Conjunto picador	Cuchilla trozadora
REVISIÓN DE CUCHILLA SECUNDARIA/ REVISIÓN DE BASE CORTADORA POR FUGA / SE LE ENTREGO CUCHILLAS PRIMARIAS Y TORNILLERÍA 1/2	Mecánico	Transporte y picado	Conjunto picador	Cuchilla trozadora
TENSADO DE CADENA DE ELEVADOR/ ENTREGA DE TORNILLERÍA DE 1/2 / PUNTAS PARA SEGURO	Mecánico	Recolección	Divisores	Punta de divisor

Anexo 8. Diagrama de operación en verde, registros de las últimas 5 zafra según el CONSAA.



Anexo 9. Ejemplo de falla en fusible de base cortadora, sistema de corte base. Falla de base cortadora ocurrida el día 27/02/23, cosechadora CH570 código 7300001588, Hacienda Santa Teresa, Cara Sucia, Ahuachapán.



*Anexo 10. Falla de base cortadora ocurrida el día 04/01/23, cosechadora CH570 código 7300001555, Hacienda Las Cachas, Melara, La Libertad.*



*Anexo 11. Falla de base cortadora ocurrida el día 23/12/22, cosechadora CH570 código 7300001137, Hacienda Tihuilocoyo, San Juan Talpa, La Paz.*



*Anexo 12. Reporte diario de calidad de caña.*

REPORTE DE MOLIDA Y CALIDAD TORRE DE CONTROL		
FECHA:	20/03/2023	
HORA:	18	
	CENTRAL IZALCO	CHAPARRASTIQUE
<b>DATOS DE CALIDAD</b>		
Fibra	14.66	15.24
Brix % Jugo	21.02	20.82
Pol % Jugo	17.75	16.71
Pureza	84.48	80.35
Jugo % en Caña	85.34	84.76
Azúcares Reductores	0.87	1.42
Dextrana % Brix	915.40	1,299.29
Humedad	68.50	69.12
Materia Extraña	8.79	13.54
Sedimento % Jugo	3.44	2.75
Almidón % Brix	432.26	269.59

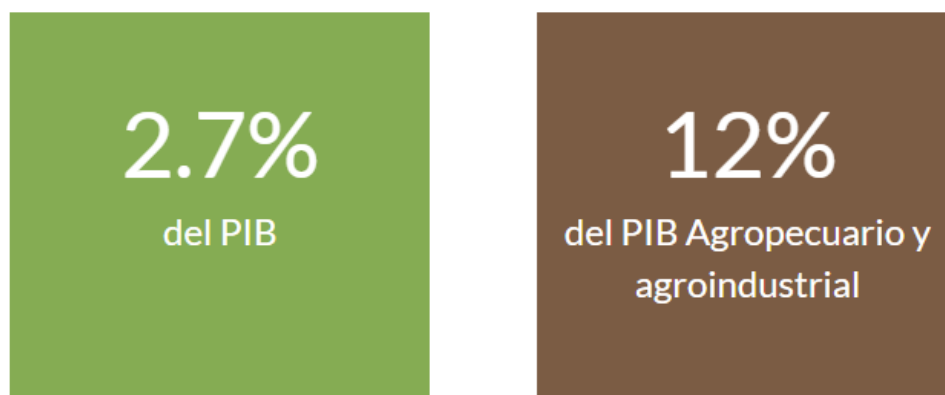
*Anexo 13. Recepción de maquinaria previo arranque de zafra. Ingenio de oriente, hacienda Santo Tomás, La Libertad.*



*Anexo 14. PIB del sector agro azucarero en la economía de El Salvador. Tomado del portal virtual de Azúcar de El Salvador.*

## PRODUCTO INTERNO BRUTO

Dentro de la ECONOMÍA representamos



*Anexo 15. Descripción de la cadena de valor de la producción de azúcar y enlaces. Tomado del portal virtual de Azúcar de El Salvador.*

Compra de insumos	Beneficia a las industrias proveedoras, estas pagan a trabajadores, mejoran su capacidad de compra, pagan impuestos.
Contratación mano de obra	Enlace con centros educativos (educación formal e informal). Los trabajadores reciben salarios, pagan IVA e ISR.
Compra/mantenimiento maquinaria y equipo	Pago a ese factor productivo (capital) genera ingresos para esas compañías.
Pago de impuestos	Aporta ingresos tributarios al Estado.
Responsabilidad Social Empresarial	Diferentes beneficiarios y potenciales beneficios adicionales por difusión y emulación de buenas prácticas.

Anexo 16. Especificaciones técnicas de la cosechadora de caña John Deere CH570.

<b>John Deere CH570 Cosechadora de Caña</b>	
<b>ESPECIFICACIONES CLAVE</b>	
<b>Marca del motor</b>	John Deere Powertech Plus 9.0 l
<b>Potencia estándar a 2100 rpm</b>	251 kW337 hp342 CV
<b>Tipo de sistema de refrigeración</b>	Ventilador de refrigeración de inversión con accionamiento hidráulico y control automático
<b>Capacidad de combustible</b>	605 L160 gal.
<b>Alcance máximo de despuntador completo</b>	5.2 m17 ft
<b>Control de flotación</b>	Control de flotación automático opcional
<b>Diámetro de disco estándar</b>	Superficie dura, 61 cm24 in.
<b>Configuración de cuchillas (estándar)</b>	Ocho hojas (cuatro por tambor), diferencial
<b>Diámetro del ventilador</b>	1.5 m5 ft
<b>MOTOR</b>	
<b>Marca</b>	John Deere Powertech Plus 9.0 l
<b>Modelo</b>	Diésel 6090HT
<b>Familia</b>	AJDXL09.0102
<b>Certificación de emisiones</b>	Tier 2, Tier 3 y Tier 4 disponibles para cumplir con las regulaciones del país de destino
<b>Potencia estándar a 2100 rpm</b>	251 kW337 hp342 CV
<b>Potencia estándar a 2000 rpm</b>	261 kW350 hp355 CV
<b>Potencia opcional a 2100 rpm</b>	280 kW375 hp380 CV
<b>Potencia opcional a 2000 rpm</b>	298 kW400 hp405 CV
<b>Cilindros</b>	Seis en línea, camisas húmedas
<b>Cilindrada</b>	9.0 L 548 cu in.
<b>Bomba de inyección</b>	Control electrónico
<b>Aspiración</b>	Turbocompresor con refrigeración posterior aire-aire

<b>Regímenes de revoluciones del motor</b>	Ralentí bajo 850 rpm Crucero en campo Ajustable manualmente desde 1,900 a 2,200 rpm Máxima aceleración 2,210 rpm Crucero en campo automático La velocidad del motor se ajusta a la carga de forma automática entre 2,000 y 2,210 rpm
<b>Alternador</b>	200 amp 12 V
<b>SISTEMA DE REFRIGERACIÓN</b>	
<b>Tipo</b>	Ventilador de refrigeración de inversión con accionamiento hidráulico y control automático.
<b>TRANSMISIÓN</b>	
<b>Tipo</b>	Dos bombas hidrostáticas proporcionan velocidad variable
<b>Velocidad de recorrido de la máquina con ruedas</b>	0 a 24.6* km/h 0 a 15.3* mph
<b>FRENOS</b>	
<b>Estacionamiento</b>	Discos múltiples bañados en aceite, accionados por resorte y liberados hidráulicamente
<b>CAPACIDADES</b>	
<b>Combustible</b>	605 L 160 gal.
<b>Aceite Hidráulico</b>	405 L 106 gal.
<b>RUEDAS</b>	
<b>Neumáticos estándar</b>	Delantero Michelin 360/70R17.5 AT (Radial) Trasero Neumáticos industriales con tacos agrícolas GPX 23.5 x 25 (20 capas)
<b>Neumáticos opcionales</b>	Delantero Michelin 360/70R17.5 AT (Radial) Trasero Michelin 23.5R25 XTLA (Radial)
<b>Ancho de vía</b>	Delantero 2.08 m 82 in. Trasero 1.88 m 74 in.
<b>CABINA Y CONTROLES</b>	
<b>Acondicionador de aire</b>	Cabina presurizada con aire acondicionado y calefacción
<b>Cabina de inclinación frontal</b>	Funcionamiento manual de la bomba hidráulica

<b>Asiento</b>	Suspensión neumática con mecanismo de giro
<b>Radio</b>	Premium estándar con Bluetooth
<b>Interruptor de apagado de emergencia</b>	
<b>Cabina presurizada.</b>	
<b>Guiado mediante GPS</b>	
<b>Conectividad</b>	
<b>Velocímetro</b>	
<b>Administración de datos</b>	
<b>LUCES</b>	
<b>Estándar</b>	Ocho luces en la cabina incluyendo cuatro LED. Cuatro luces halógenas auxiliares
<b>Opcional</b>	Ocho luces en la cabina incluyendo cuatro LED. Cuatro luces LED auxiliares y una luz LED para el brazo del despuntador
<b>DESPUNTADOR</b>	
<b>Transmisión</b>	Transmisión hidráulica reversible
<b>Absorción de impactos</b>	Acumulador de nitrógeno
<b>Alcance máximo de despuntador completo</b>	5.2 m17 ft
<b>Despuntador completo</b>	Corte único con ocho cuchillas estándar
<b>Despuntador triturador</b>	Triturador de gestión de residuos de 38 hojas opcional
<b>Despuntador completo con ancho extendido</b>	Ancho total - 2.4 m93.1 in. En comparación con despuntador estándar, 1.8 m71.5 in.
<b>DIVISORES DE COSECHA</b>	
<b>Tipo</b>	
<b>Sinfines</b>	Barras de desplazamiento interiores y exteriores estándar
<b>Transmisión</b>	Hidráulica, reversible
<b>Ángulo de alcance interior de barras de desplazamiento</b>	46 grados
<b>Superficie dura de fábrica</b>	Faldón, zapatas deslizables, puntas
<b>Control de flotación</b>	Control de flotación automático opcional

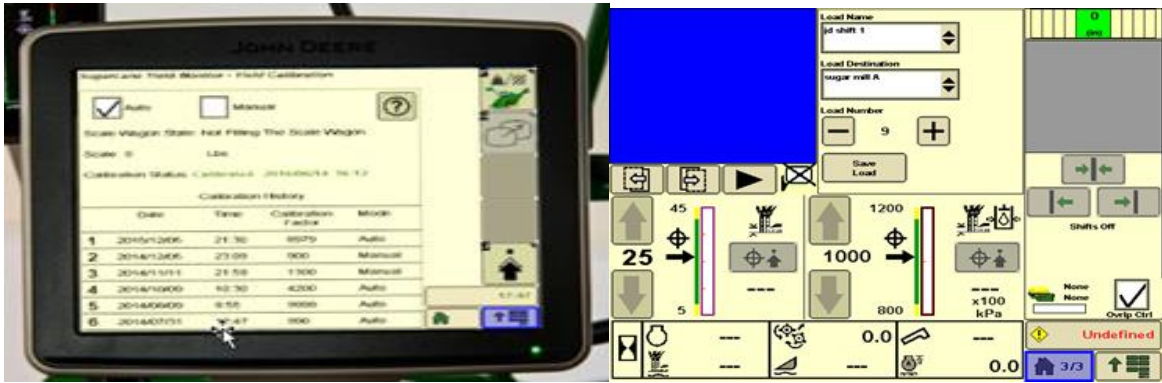
<b>Control de inclinación</b>	Control de inclinación mecánica estándar, control hidráulico opcional
<b>Cuchillas laterales</b>	Las cuchillas laterales opcionales incluyen control de altura hidráulico
<b>RODILLOS TUMBADORES</b>	
<b>Transmisión</b>	Transmisión hidráulica reversible
<b>Ajuste manual de la altura</b>	Estándar
<b>Ajuste hidráulico de la altura</b>	Opcional en la parte delantera
<b>CORTADOR DE BASE</b>	
<b>Transmisión</b>	Tres discos, transmisión alta
<b>Soportes</b>	Placas de desgaste atornilladas; patas desmontables opcionales
<b>Transmisión estándar</b>	Bomba común con picador; transmisión hidrostática reversible. Disponible con la opción de motor 251.3 kW337 hp
<b>Transmisión opcional</b>	Incluye el sistema hidráulico de alta eficiencia y circuitos independientes para el cortador de base y el picador; transmisión hidrostática reversible. Disponible con la opción de motor 279.6 kW375 hp
<b>Diámetro de disco estándar</b>	Con superficie dura, 61 cm24 in.
<b>Diámetro de disco opcional</b>	Superficie dura, 56 cm22 in.
<b>Distancia al centro</b>	63 cm24,8 in.
<b>Número de cuchillas por disco</b>	Cinco
<b>RODILLO ELEVADOR</b>	
<b>Transmisión</b>	Transmisión hidráulica reversible
<b>Tipo</b>	Cerrado con tres paletas estándar, abierto con cuatro barras opcional
<b>RODILLOS DE ALIMENTACIÓN</b>	
<b>Transmisión</b>	Transmisión hidráulica reversible
<b>Número de rodillos</b>	10
<b>Ubicación de rodamiento</b>	Exterior
<b>PICADORA</b>	

<b>Transmisión</b>	Estándar - Bomba común con picador; transmisión hidrostática reversible. Disponible con la opción de motor 251.3 cm <sup>3</sup> 337 hp Opcional - Incluye el sistema hidráulico de alta eficiencia y circuitos independientes para el cortador de base y el picador; transmisión hidrostática reversible. Disponible con la opción de motor 279.6 cm <sup>3</sup> 375 hp
<b>Distancia al centro del tambor</b>	38.1 cm15 in.
<b>Ubicación de rodamiento</b>	Exterior
<b>Anchura de la cuchilla</b>	9.5 cm3.74 in.
<b>Configuración de cuchillas</b>	Estándar Ocho hojas (cuatro por tambor), diferencial Opción 1Seis hojas (tres por tambor), diferencial Opción 2Diez hojas (cinco por tambor), solapamiento Opción 3Ocho hojas (cuatro por tambor), solapamiento
<b>Rodillo de soporte</b>	Opcional
<b>EXTRACTOR PRIMARIO</b>	
<b>Motor del ventilador</b>	Hidrostática, velocidad variable
<b>Diámetro del ventilador</b>	1.5 m5 ft
<b>Cantidad de aletas del ventilador</b>	Cuatro
<b>Velocidad máxima del ventilador</b>	Ajuste de fábrica a: 1,000 rpm Posible: 1,360 rpm
<b>Rotación del capó</b>	Control hidráulico
<b>Anillo de desgaste</b>	Estándar - Acero resistente a la abrasión Opcional - Acero Duraliner (Vidaplate)
<b>ELEVADOR</b>	
<b>Ajuste de la cadena</b>	Cilindro de grasa
<b>Transmisión con rueda dentada</b>	Accionamiento por motor hidráulico, reversible
<b>Anchura</b>	86.9 cm34.2 in.
<b>Giro del elevador</b>	Control hidráulico, cilindros de muñón
<b>Ángulo de giro total</b>	170 degree (angle)

Absorción de impactos	Acumulador de nitrógeno
Extensión del elevador opcional	30.5 cm12 in. Y 61 cm24 in.
<b>EXTRACTOR SECUNDARIO OPCIONAL</b>	
Motor del ventilador	Hidráulica, 1,650 rpm con opción de motor 251.3 kW337 hp1,900 rpm con opción de motor 279.6 kW375 hp
Rotación del capó	Control hidráulico, 360 degree (angle)
Posición de la aleta de la tolva	Control hidráulico
<b>PESO</b>	
Peso de la máquina	El peso puede variar según las opciones, 17,500 kg38,500 lb
<b>Información Adicional</b>	
Fecha de la Información	24 de abril de 2018

*Anexo 17. Interfaz de operación en cabina de conducción de una cosechadora de caña John Deere CH570.*





*Anexo 18. Criterios de evaluación de Gravedad, Ocurrencia y Detección*

<b>ÍNDICE DE GRAVEDAD</b>	
<b>Valor</b>	<b>Descripción</b>
1	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.
2-3	El tipo de fallo originaria un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, este observara un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia de fácil subsanación.
4-6	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observara deterioro en el rendimiento del sistema.
7-8	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.
9-10	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias.

Fuente: Bestratén y Orriols, 2004, p.4

<b>ÍNDICE DE OCURRENCIA</b>	
<b>Valor</b>	<b>Descripción</b>
1	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.
2-3	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.
4-6	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.
7-8	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.
9-10	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.

Fuente: Bestratén y Orriols, 2004, p.4

<b>ÍNDICE DE DETECCIÓN</b>	
<b>Valor</b>	<b>Descripción</b>
1	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.
2-3	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad.
4-6	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estados de producción
7-8	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.
9-10	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final.

Fuente: Bestratén y Orriols, 2004, p.5.

<b>NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO</b>	
<b>NPR</b>	<b>Criterio</b>
200 a más	Inaceptable
125 a 200	Reducción deseable
1 a 124	Aceptable

Fuente: Bestratén y Orriols, 2004, p.5.

*Crterios y sus parámetros.*

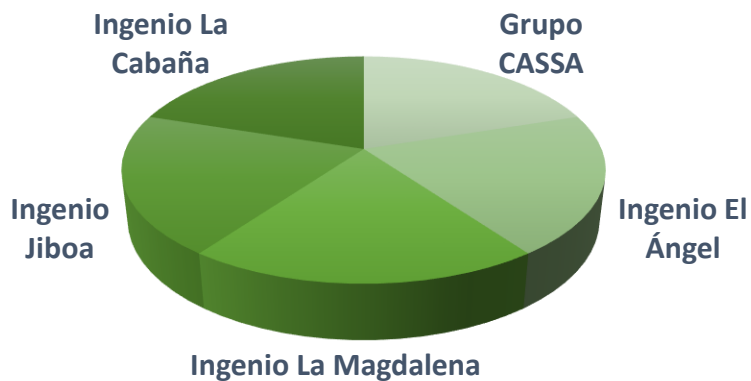
<b>Criterio de viabilidad</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>
<b>Costos</b>	Posee equipo y herramientas, mano de obra con experiencia e instalaciones adecuadas para los trabajos de mantenimiento.	Requiere inversión inicial para la adquisición de herramientas y equipos, y contratación de mano de obra, para la ejecución del mantenimiento a los equipos de cosecha mecanizada.	Inversión inicial para la adquisición de nuevos equipos, alquiler de local o mejoramiento de las instalaciones existentes, contratación de mano de obra; debe cumplir con disciplinas de gestión y necesita un equipo de trabajo altamente capacitado en el tema.
<b>Probabilidad de éxito</b>	Aplica la metodología RCM, no existe claridad en la definición de objetivos.	Aplica la metodología RCM, están definidos los objetivos, pero no se cumplen.	Claridad de los objetivos, precisión en la planificación, compromiso de los participantes, gestión de riesgos y utilización de metodología.
<b>Horizonte de tiempo</b>	Los cambios son inmediatos.	Se implementa a corto plazo.	Enfoque gradual.
<b>Sostenibilidad</b>	Se garantiza el mejoramiento económico de la empresa por medio de la reducción de costos de mantenimiento.	La empresa mejora económicamente por la reducción de costos de mantenimiento y se obtiene una leve mejora en la conservación del medio ambiente.	Garantiza la prosperidad económica de la empresa, la integridad del medio ambiente a través de la conservación o mejora de los ecosistemas, y contribuye a la equidad social por

			medio de empleos dignos.
<b>Facilidad de implementación</b>	Procedimiento sencillos, prácticos y sistemáticos, y diferentes canales de comunicación.	Procedimientos sencillos, prácticos y sistemáticos, variados canales de comunicación, y claridad en el alcance del trabajo.	Claridad en el alcance; procedimientos sencillos, prácticos y sistemáticos; adaptabilidad a los cambios imprevistos; conformación de buen equipo de trabajo; y variados canales de comunicación.

Anexo 19. Resultados de la encuesta realizada a jefes del área de cosecha mecanizada

**Pregunta 1**

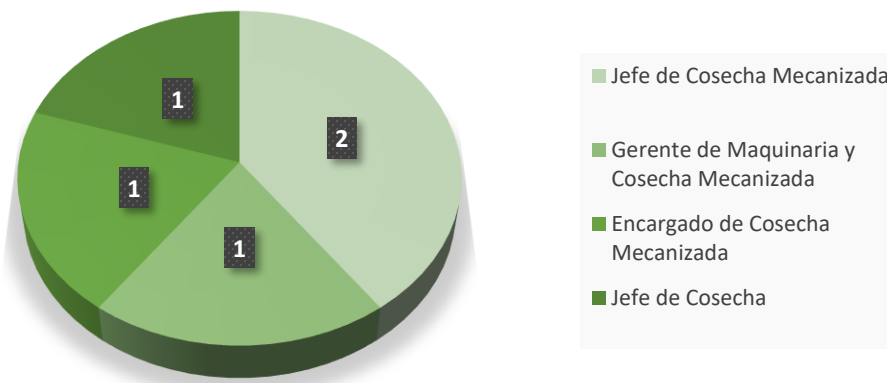
¿En qué ingenio labora actualmente?



*Ingenios Azucareros participantes. Fuente: Elaboración propia.*

**Pregunta 2**

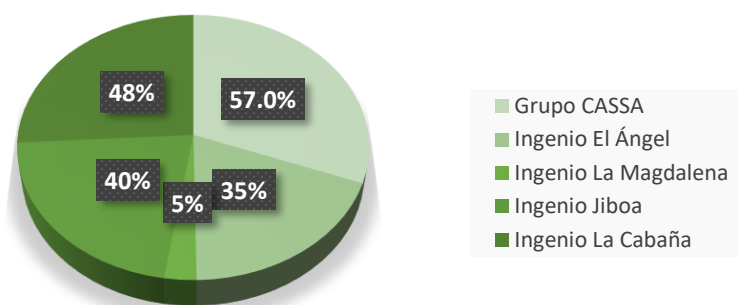
¿Qué puesto desempeña en la organización?



*Puesto que desempeñan los encuestados. Fuente: Elaboración propia.*

**Pregunta 3**

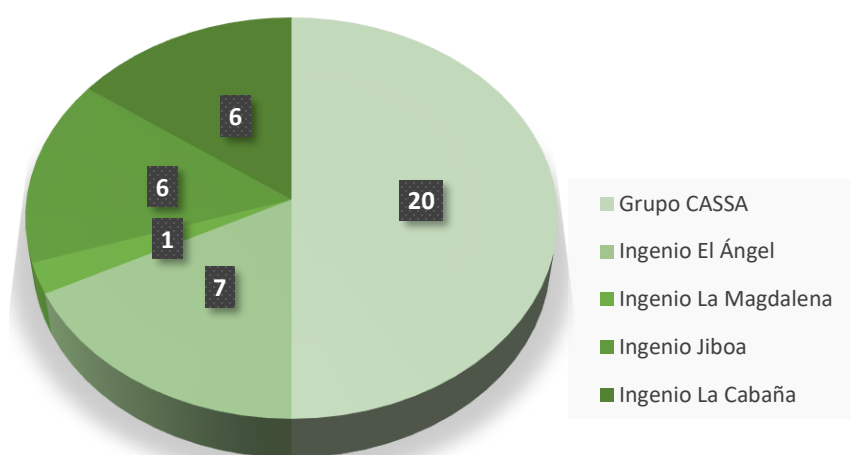
¿Conoce el dato del porcentaje exacto de participación de cosecha mecanizada y lo puede compartir?



Porcentaje de participación de cosecha mecanizada. Fuente: Elaboración propia.

#### Pregunta 4

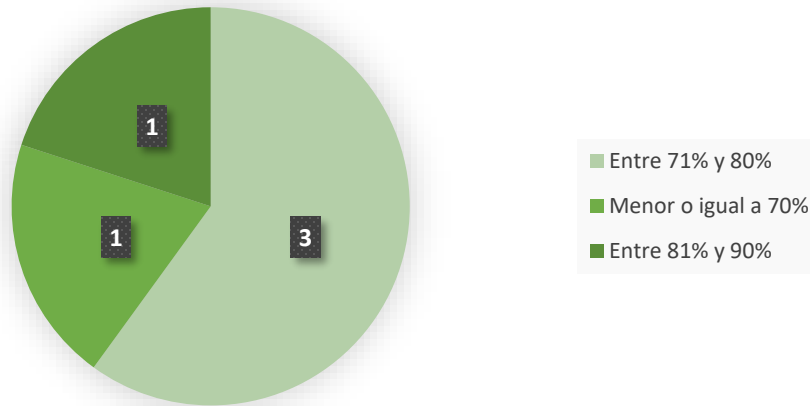
¿Cuántas cosechadoras de caña tiene el ingenio para la labor de cosecha mecanizada?



Número de cosechadoras por cada ingenio azucarero. Fuente: Elaboración propia.

#### Pregunta 5

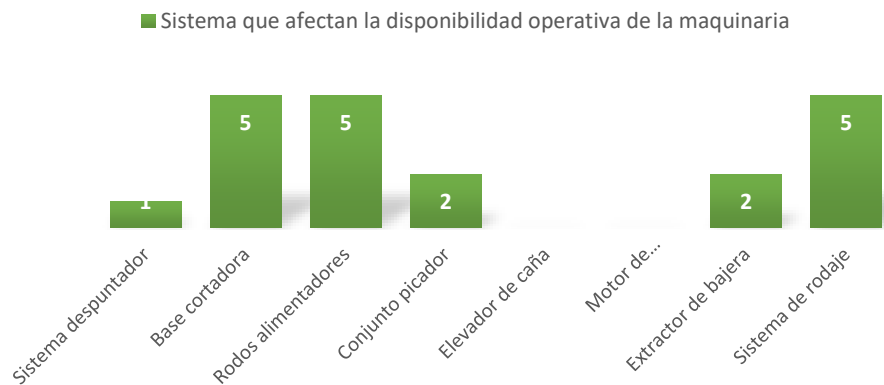
¿Qué porcentaje de disponibilidad operativa tiene con la maquinaria?



*Porcentaje de disponibilidad operativa de la maquinaria. Fuente: Elaboración propia.*

### **Pregunta 6**

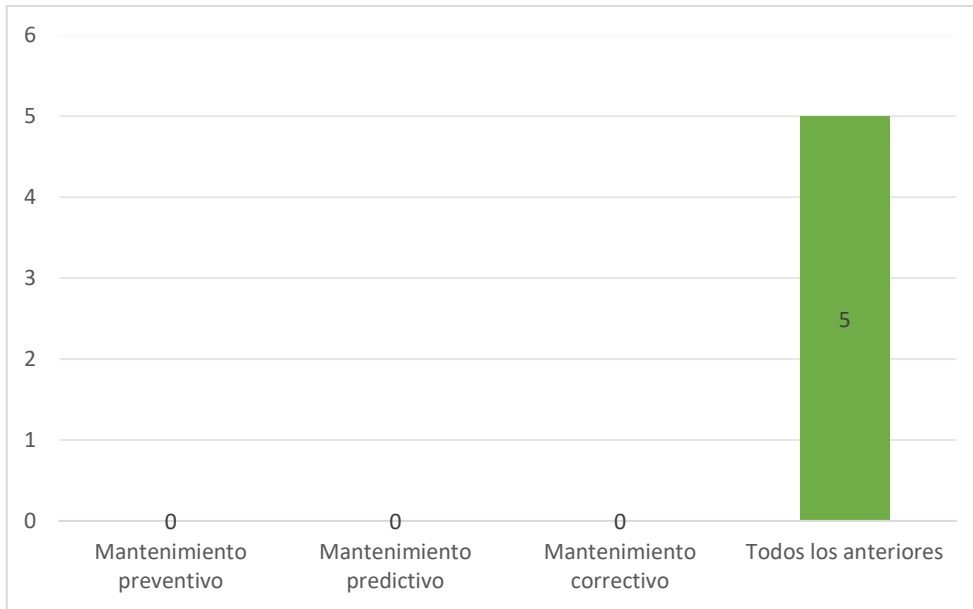
¿Cuáles son los sistemas o componentes que más afectan la disponibilidad operativa de la cosechadora?



*Sistemas que más afectan la disponibilidad operativa de la maquinaria. Fuente: Elaboración propia.*

### **Pregunta 7**

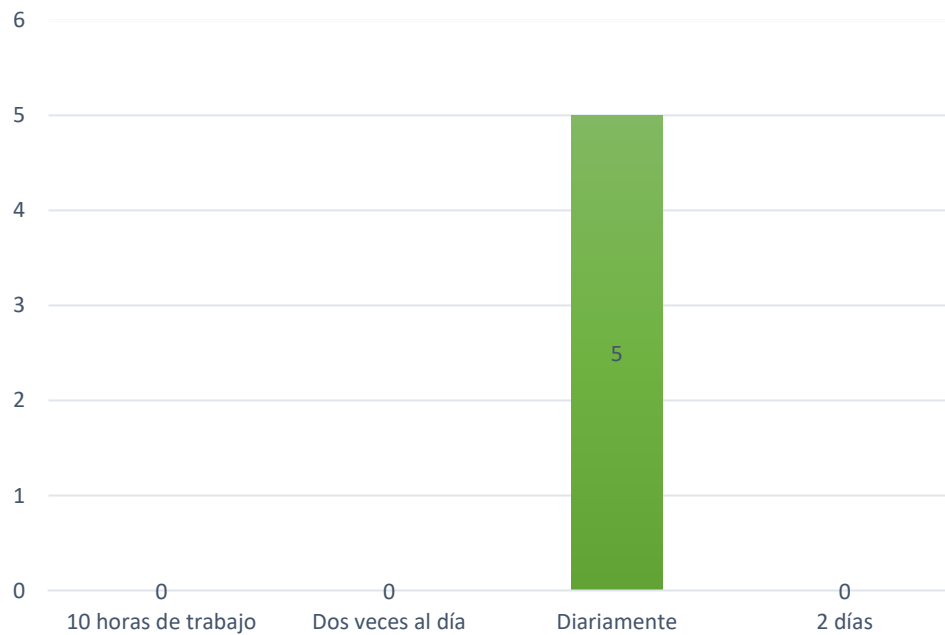
¿Qué tipos de mantenimiento realizan a la maquinaria de cosecha mecanizada durante la época de Zafra?



*Tipos de mantenimientos aplicados a la maquinaria. Fuente: Elaboración propia.*

**Pregunta 8**

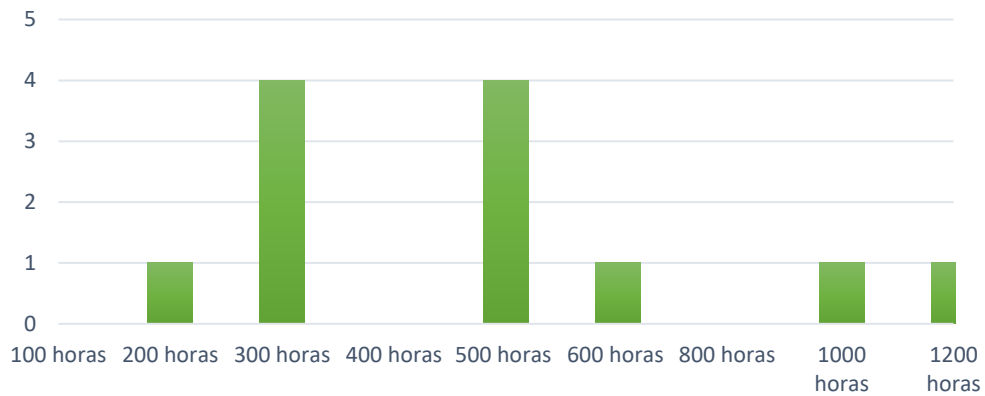
¿Con qué frecuencia realizan el mantenimiento preventivo rutinario a la maquinaria?



*Frecuencia de realización del mantenimiento preventivo. Fuente: Elaboración propia.*

**Pregunta 9**

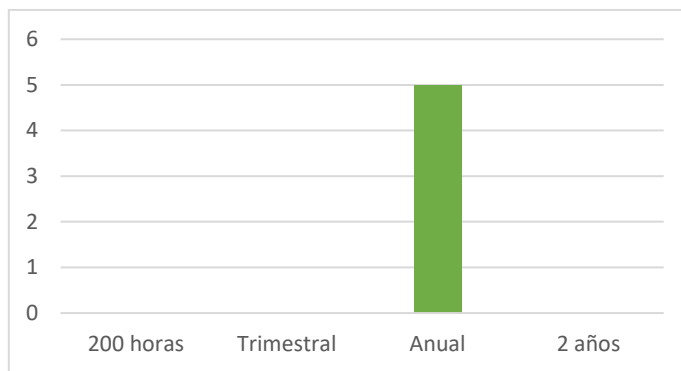
¿Con qué frecuencia realizan el mantenimiento programado a la maquinaria?



*Frecuencia de realización del mantenimiento programado. Fuente: Elaboración propia.*

**Pregunta 10**

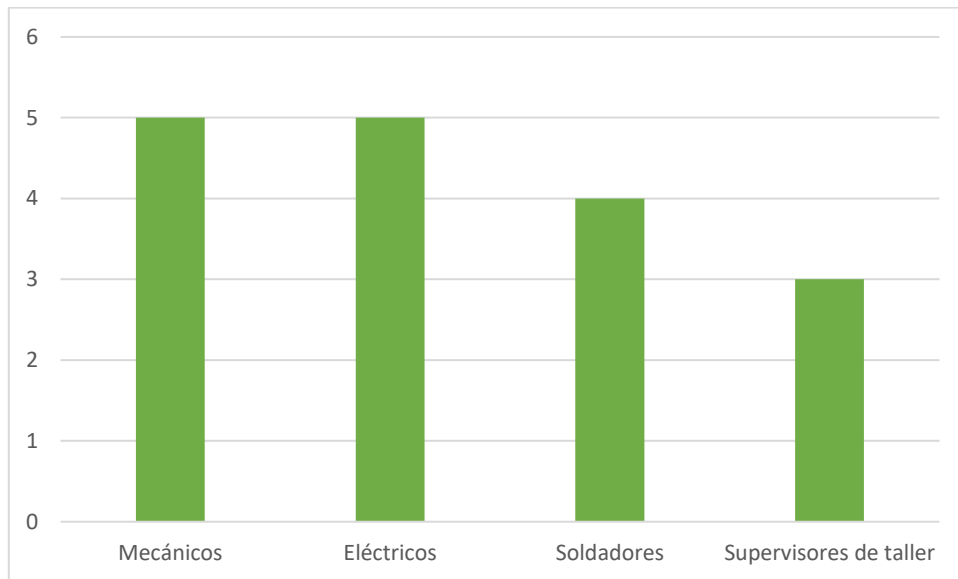
¿Con qué frecuencia realizan el mantenimiento mayor a la maquinaria?



*Frecuencia de realización del mantenimiento mayor. Fuente: Elaboración propia.*

**Pregunta 11**

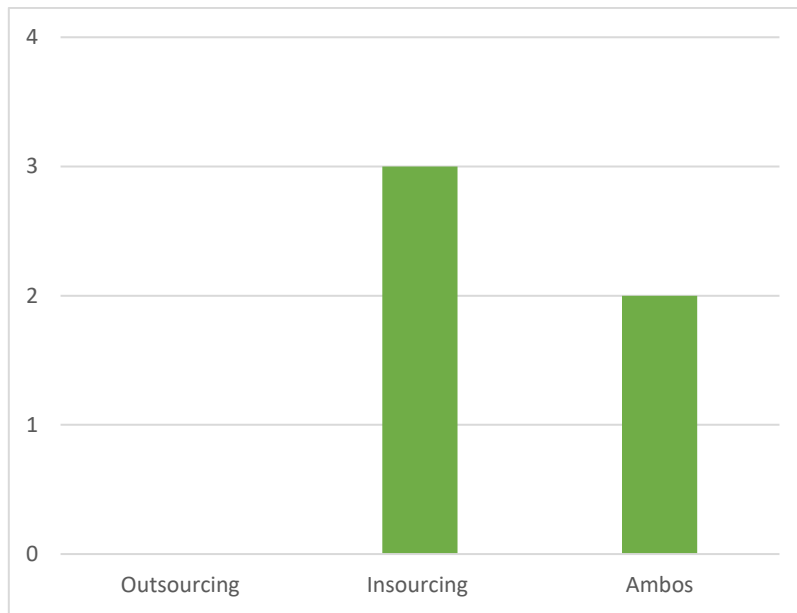
¿Quiénes son los encargados de realizar el mantenimiento?



*Encargados de realizar el mantenimiento. Fuente de elaboración propia.*

**Pregunta 12**

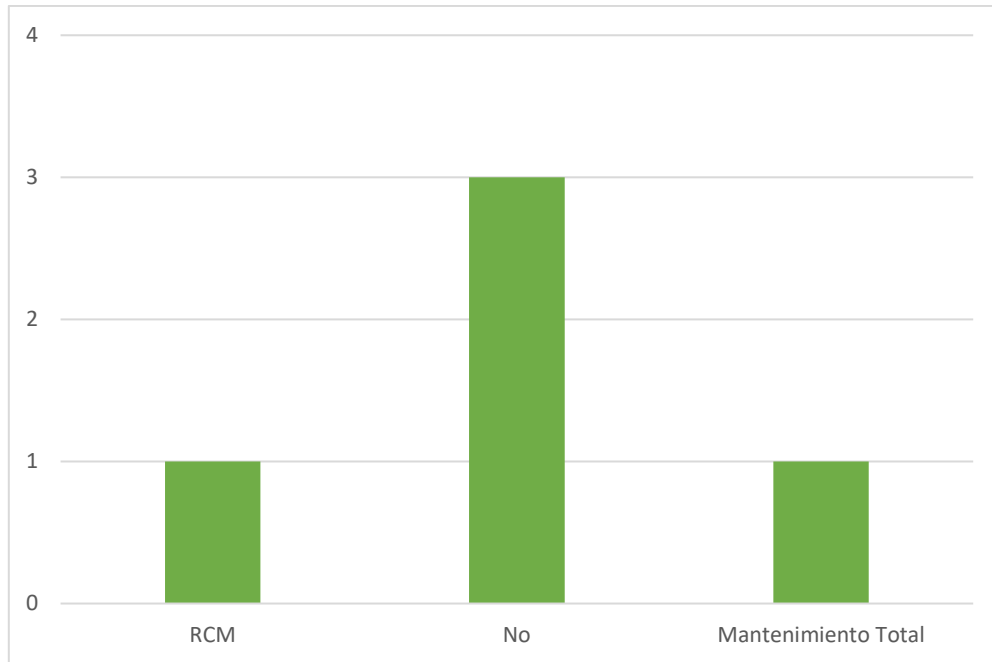
Desde el punto de vista administrativo, ¿qué tipo de mantenimiento realiza?



*Tipos de mantenimiento que realizan las empresas a la maquinaria. Fuente: Elaboración propia.*

**Pregunta 13**

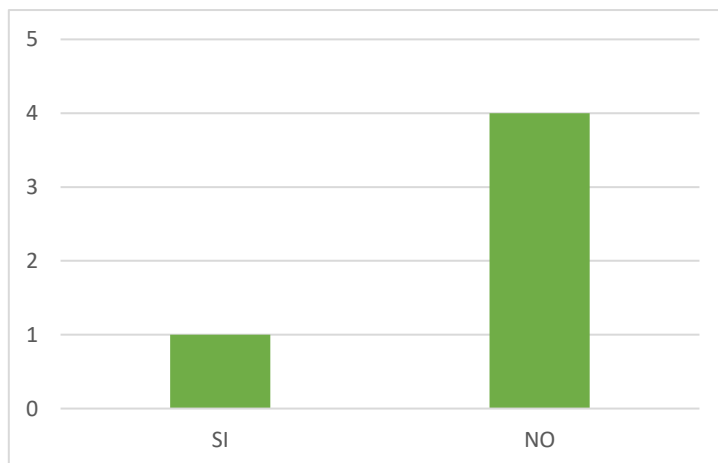
¿Conoce o practica alguna técnica de mantenimiento en la maquinaria además del enfoque preventivo, predictivo y correctivo? ¿Cómo se llama?



*Otros tipos de mantenimiento que conocen los encuestados. Fuente: Elaboración propia.*

**Pregunta 14**

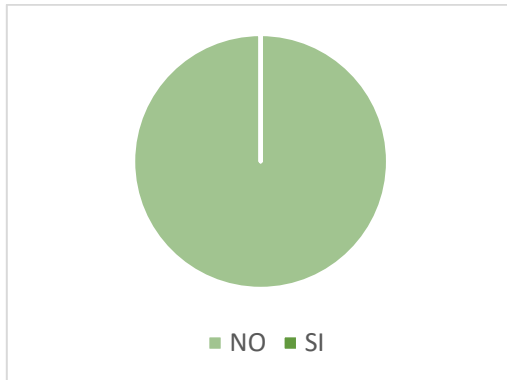
Dentro de la empresa, ¿Alguna vez ha escuchado del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)?



*Conocimiento acerca del modelo RCM. Fuente: Elaboración propia.*

**Pregunta 15**

¿En la empresa, se ha puesto en práctica alguna fase del mantenimiento RCM?



*Empresas que se identifican con el RCM. Fuente: Elaboración propia.*

**Pregunta 16**

¿Hasta qué fase se implementó?

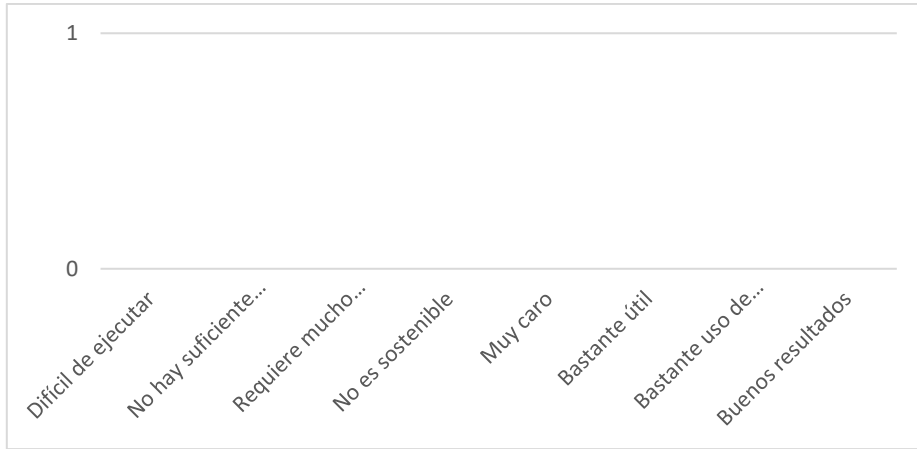
0

Respuestas

[Respuestas más recientes](#)

**Pregunta 17**

¿Qué le parece este tipo de mantenimiento?



*Opinión acerca de la metodología RCM. Fuente: Elaboración propia.*

*Anexo 20. Entrevista 1: al jefe de Taller de un ingenio del sector.*

### **1. ¿Cómo planifica el mantenimiento a la maquinaria de cosecha mecanizada de caña de azúcar?**

El jefe de Taller Automotriz define las metas de disponibilidad de la maquinaria autopropulsada y planifica el mantenimiento preventivo durante zafra, para garantizar la disponibilidad, así mismo planifica la realización de los mantenimientos correctivos por incidencias durante zafra y el mantenimiento preventivo mayor a la maquinaria autopropulsada en el período de reparación.

### **2. ¿Qué producto se obtiene de la planificación?**

Al final de la etapa de planificación, las Gerencias Agrícolas deben contar con:

- a) Un plan de utilización de maquinaria y del seguimiento de las eficiencias de operación.
- b) Un plan de mantenimiento preventivo.

### **3. ¿Cómo se ejecutan los planes de mantenimiento?**

Los gerentes agrícolas, los jefes de proceso y el jefe de Taller Automotriz gestionan la mejor manera para el aprovechamiento de maquinaria y realizan las acciones necesarias para el logro de las metas relacionadas al aprovechamiento eficiente de maquinaria de acuerdo a lo establecido y tomando en cuenta el cumplimiento de los indicadores de desempeño, considerando las incidencias que afecten el desarrollo normal del programa como: accidentes, fenómenos naturales y otros.

### **4. ¿Hacen ajustes durante la zafra? ¿En función de qué?**

Los gerentes agrícolas, los jefes de producción agrícola, de transferencia tecnológica, el jefe de taller, el jefe de Cosecha y sus equipos de trabajo dan seguimiento y evalúan el

plan de utilización de la maquinaria de acuerdo a los indicadores de desempeño aplicables a los procesos.

#### **5. ¿Cuál es el enfoque del mantenimiento que se ejecuta en la maquinaria?**

Los gerentes agrícolas deben monitorear los indicadores de desempeño establecidos en este procedimiento y en los planes de calidad respectivos y tomar acción para las correcciones correspondientes si fuera necesario.

Las variaciones en el cumplimiento de los indicadores que representen la posibilidad de generar un efecto negativo al desarrollo de los programas, deben generar correcciones inmediatas, debiendo sus resultados ser analizados en función de prevenir el retraso o incumplimiento de las metas proyectadas.

*Anexo 21. Entrevista 2: entrevista realizada al Ing. José Miguel Contreras, secretario de ATASAL.*

### 1. ¿Cuál es la tendencia de la cosecha mecanizada en El Salvador?

La tendencia al alza de la cosecha mecanizada de caña se ha impulsado por su eficiencia, reducción de costos laborales, escasez de mano de obra y avances tecnológicos. Su impacto en la industria y el sector agrícola incluye un aumento en la producción y la rentabilidad.

### 2. ¿Cuáles son los factores que la impulsan?

**Eficiencia y Productividad:** permite realizar el corte y recolección de caña de manera más rápida y eficiente que la cosecha manual.

**Reducción de Costos Laborales:** disminuye la dependencia de la mano de obra manual, lo que se traduce en menores costos laborales.

**Escasez de Mano de Obra:** en el país, la disponibilidad de mano de obra para la cosecha manual de caña ha disminuido debido a la migración a otras industrias, regiones, alza delincencial y esto causa una falta de relevo generacional.

### 3. ¿Cuál es el impacto que tiene la cosecha mecanizada en la industria y sector agrícola?

**Incremento de la Producción y Rendimiento:** la cosecha mecanizada mejora la eficiencia de la cosecha, lo que se traduce en un aumento en la producción de caña y en el rendimiento de azúcar por tonelada de caña procesada.

**Reducción de Costos de Producción:** la disminución de costos laborales y el aumento de la productividad contribuyen a una reducción general de los costos de producción, lo que mejora la rentabilidad de las operaciones agrícolas.

**Mayor Competitividad:** la adopción de la cosecha mecanizada puede mejorar la competitividad de los productores de caña, permitiéndoles ofrecer precios más competitivos en el mercado.

#### 4. ¿Cuál es la comparación o relación con la cosecha de caña tradicional o manual?

**Mayor Eficiencia y Rapidez:** La cosecha mecanizada es considerablemente más rápida y eficiente que la cosecha manual, lo que permite cosechar grandes extensiones de cultivo en menos tiempo.

**Menos Requerimientos de Mano de Obra:** La cosecha mecanizada requiere menos mano de obra en comparación con la cosecha manual, lo que reduce los costos laborales y las necesidades de contratación.

**Menor Desgaste Físico para los Trabajadores:** La mecanización disminuye la carga física y los riesgos para los trabajadores, mejorando sus condiciones laborales y la seguridad en el trabajo.

**Mayor Precisión en el Corte:** Las cosechadoras de caña pueden realizar cortes más precisos y limpios, lo que reduce las pérdidas de caña y mejora la calidad de la materia prima para el ingenio.

#### 5. ¿Qué aspectos se deben considerar para optimizar la cosecha mecanizada y que sea sostenible?

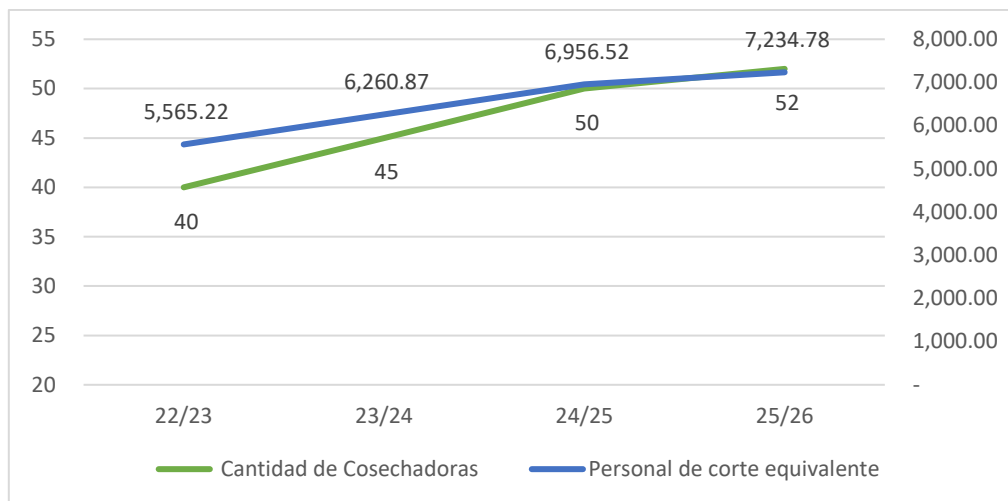
- ✓ Capacitación y Mantenimiento.
- ✓ Adaptabilidad a Condiciones Locales.
- ✓ Optimización del Rendimiento.
- ✓ Gestión Ambiental.
- ✓ Actualización Tecnológica.

## 6. ¿Cuántas cosechadoras de caña se tienen actualmente en el país y cuál es la proyección para los próximos años?

Se presenta información relevante que respalda la tendencia al alza de la cosecha mecanizada en el país en cuanto al incremento de la maquinaria y a la participación de esta modalidad de cosecha en el abastecimiento de los ingenios. Tomando en cuenta que cada máquina tiene la capacidad de reemplazar hasta 140 cortadores de caña al día, se puede calcular el total de personas que equivale la operación de todas las cosechadoras del parque, tal y como se muestra en la siguiente tabla

<b>Histórico de zafras</b>	<b>Cantidad de Cosechadoras</b>	<b>de Personal de corte equivalente</b>
22/23	40	5,565.22
23/24	45	6,260.87
24/25	50	6,956.52
25/26	52	7,234.78

El gráfico muestra una clara tendencia al alza en el parque de maquinaria para la operación de cosecha mecanizada.

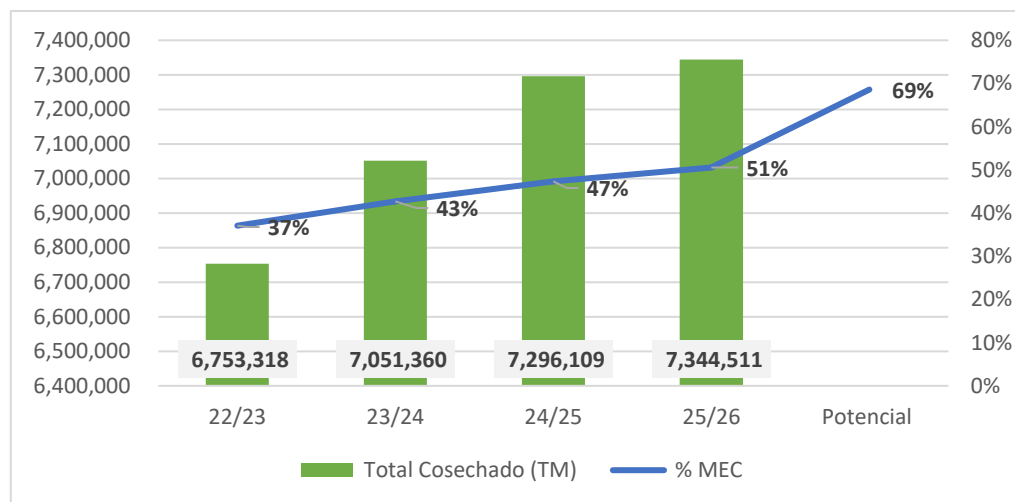


Se espera proporcionar una visión integral sobre la tendencia en la productividad de caña y el papel creciente de la cosecha mecanizada en el abastecimiento de los ingenios. Esta información es fundamental para comprender el panorama actual y futuro de la industria azucarera y tomar decisiones informadas que impulsen su desarrollo sostenible y competitividad en el mercado nacional e internacional.

### 7. ¿Qué expectativa se tiene de la productividad de caña y el parque cañero del país?

La productividad en el país no cambiará significativamente en los próximos años con respecto a la productividad actual, esto se debe a que las áreas para el cultivo de caña requieren de condiciones de relieve plano y libre de árboles u otros obstáculos; además, deben ser grandes extensiones de tierra para garantizar eficiencias y se compite con muchos otros rubros que requieren de las mismas condiciones. Se conoce el potencial de producción de todos los ingenios y se ha identificado un potencial de cosecha mecanizada que tienen los ingenios el cual se traduce en un 69%, esto se conoció en un foro que se llevó a cabo coordinado por ATASAL.

Histórico de zafras	Total, Cosechado (TM)	% MEC
22/23	6,753,318	37%
23/24	7,051,360	43%
24/25	7,296,109	47%
25/26	7,344,511	51%
Potencial		69%

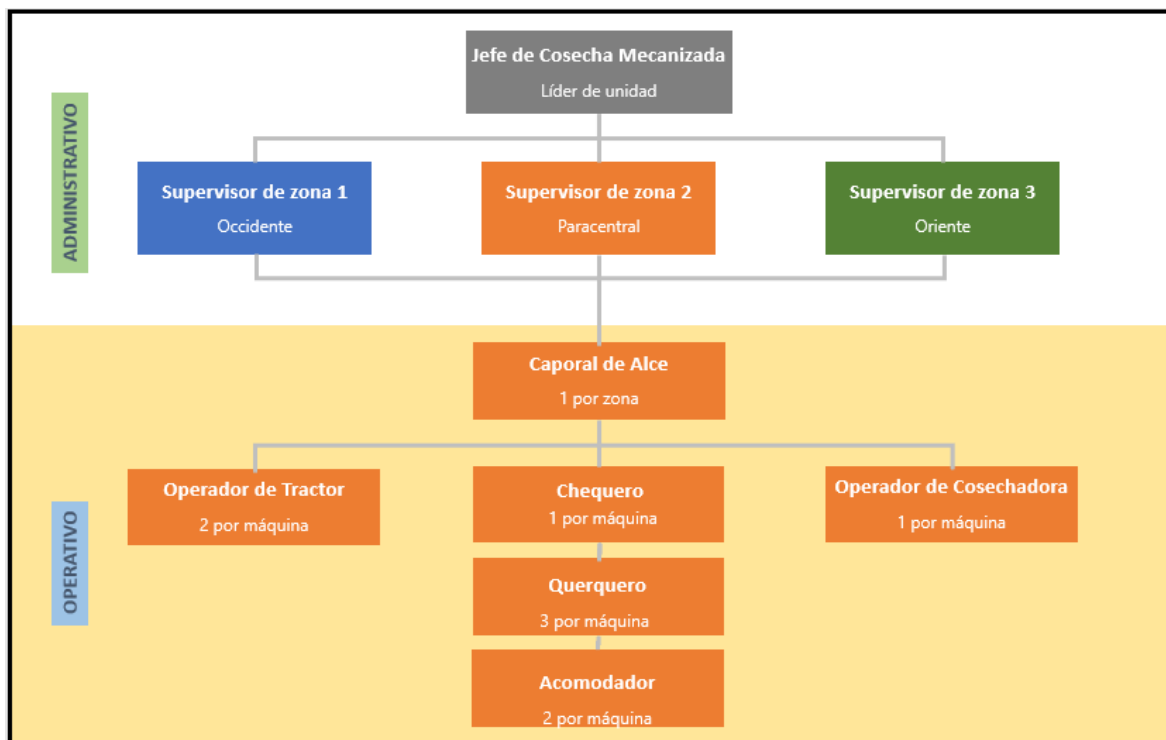


Anexo 22. Entrevista 3: entrevista realizada al jefe de Cosecha Mecanizada de un ingenio azucarero.

### 1. ¿Cuál es la estructura actual de la organización de cosecha mecanizado y cómo funciona?

De acuerdo con información compartida por el personal del ingenio del sector, existe una estructura administrativa y operativa dentro del organigrama de la operación de cosecha mecanizada.

Organigrama de cosecha mecanizada:



### 2. ¿Cuáles son las funciones de cada puesto dentro de esa estructura?

Las funciones de cada puesto están orientadas a realizar una recolección de caña limpia y eficientemente, actualmente reciben capacitaciones en temas diversos y de manera virtual antes de iniciar zafra.

**Responsables de zona:** son ingenieros agrónomos con mucha experiencia.

**Operador de cosechadora:** Cuidar de su equipo asignado y realizar una labor de cosecha con calidad y eficiencia.

**Operador de tractor:** Cuidar de su equipo asignado y realizar una labor de trasiego de caña con calidad y eficiencia. También debe estar pendiente de la operación y de la cosechadora.

**Caporal de Alce:** Se encarga de consolidar información de todos los frentes de cosecha e informar al supervisor de zona. Transmitir cualquier indicación del supervisor a todos los frentes.

**Chequero:** Realizar los envíos de caña y supervisar la calidad del corte.

**Querquero:** Recolectar toda la caña que queda en el surco después de que ha pasado la cosechadora y colocarla en el surco aledaño que está próximo a la cosecha.

**Acomodador:** Dirigir al tractorista para realizar una descarga de trasiego controlada, acomodar y distribuir la caña uniformemente en la rastra para evitar desperdicios.

**Controlador de tráfico:** Coordinar el ingreso y salida de rastras desde la calle hasta el campo y detener el tráfico en la entrada de la hacienda para evitar accidentes de tránsito.

Los colaboradores trabajan en turnos de 12 o 24 horas al día, realizando el cambio a las 06:00 o 18:00 horas del día. Algunos ingenios les brindan transporte y otras comodidades en campo como *canopy*, servicio sanitario y viáticos para alimentación.

**3. Hablando de la operación de cosecha, ¿Cuáles son los componentes más importantes dentro de la cosechadora que son críticos para una buen desempeño y calidad del trabajo?**

✓ **Rodillos sin fin**

El primer contacto que la máquina tiene con la caña es cuando las puntas de los divisores que trabajan al nivel del suelo levantan la caña que se encuentre caída hacia los lados; dos pares de “rodillo sin fin” giran separando la caña, y dirigiéndola hacia la boca de la máquina o hacia el surco de al lado. Estos tornillos giran siempre que se está cortando, y su giro se puede invertir para desenredar alguna caña que estuviera mal colocada. Justo sobre cada par de tornillos hay un plato giratorio con cuchillas (cortadores laterales) que tiene la función de cortar la caña que estuviera muy enredada con aquella de los surcos de los lados.

#### ✓ **Cortadores base**

El próximo paso es la corta que se hace a ras del suelo, lo efectúan dos discos con cinco cuchillas cada uno, estos discos giran en sentidos opuestos y se les llama Cortadores Base. Las diez cuchillas que son parte de estos cortadores se sujetan a los platos con dos tornillos, tienen 7 huecos en línea que permiten colocarlas en diferente posición según se vayan desgastando. La base cortadora es un componente susceptible a daños causados por obstáculos dentro del lote como piedras, troncos, pozos abandonados y otros.

#### ✓ **Rodo pateador**

En el momento en que los cortadores base separan al tallo del suelo, un rodillo, llamado “tumbador”, golpea la caña para colocarla en posición horizontal. Este rodillo gira constantemente y dirige los tallos cortados hacia otro rodillo que se encuentra cerca del nivel del suelo y se le conoce como “pateador” ya que tiene la función de levantar la caña caída recién cortada por los discos de la base cortadora.

#### ✓ **Rodos alimentadores y conjunto picador**

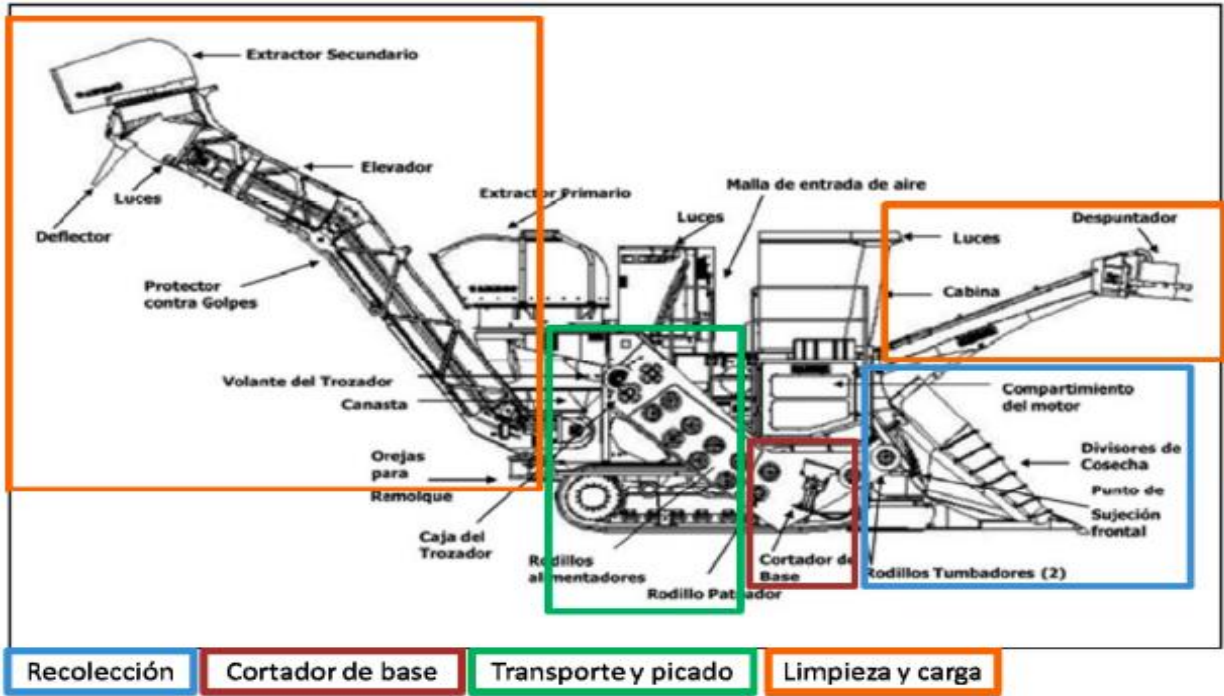
El rodillo pateador dirige la caña hacia una serie de rodillos conocidos como rodos alimentadores y que la transportan hacia atrás y un poco hacia arriba donde se encuentran los picadores, que son un conjunto de cuchillas que cortan los tallos en trozos de aproximadamente 15 a 20 centímetros. Otra función de los picadores es cortar las hojas que vienen adheridas a los tallos cuando la caña se cosecha en verde, follaje que luego será extraído por el extractor primario asegurando así un menor porcentaje de materia extraña en el proceso.

La caña picada cae luego a una canasta cuyo piso es una cadena transportadora que la lleva por el elevador para que luego caiga dentro de la carreta conocida como autovolteo y cuya descripción se hará más adelante.

Sobre la canasta y al final del elevador se encuentran los extractores primario y secundario respectivamente, que son abanicos que soplan hacia arriba succionando las hojas secas y verdes. La caña, como es más pesada, cae sobre la cadena o dentro de la carreta.

#### **4. ¿Cómo clasificaría esos componentes?**

La siguiente imagen indica los segmentos de la máquina que están involucrados en los procesos de recolección, limpieza, corte de caña, transporte, picado y carga de la caña.

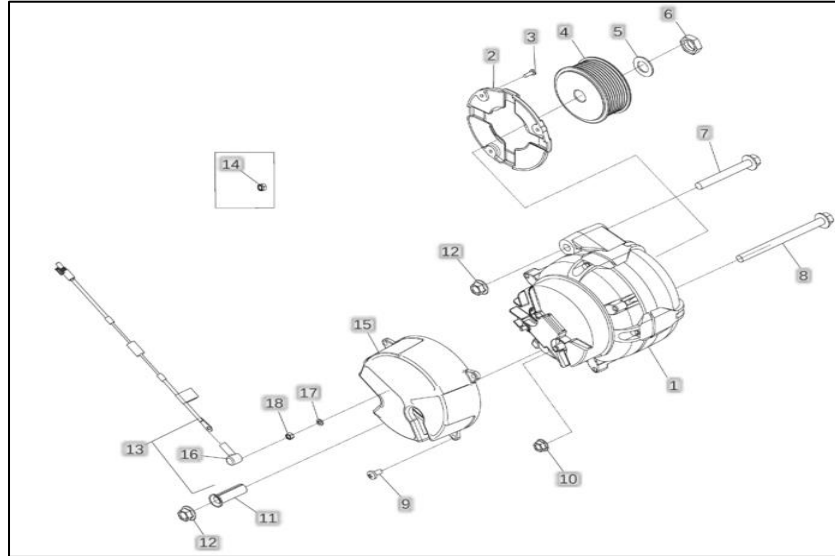


Anexo 23. Ejemplo de hoja RCM

SISTEMA			SISTEMA MECANICO						EQUIPO			PARTE	Conjunto Picador / Trozador	TAG		
ITEM MANTENIBLE	REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1 S1	H2 S2	H3 S3	TAREAS "A FALTA DE"			TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	ENCARGADO DE SU EJECUCIÓN
	F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
SUB UNIDAD			ACCIONAMIENTO													
Conjunto Picador / Trozador	1	A	1	N	N	N	S	N	N	S				Realizar revisiones periódicas al sistema de corte durante la jornada, Validar procedimiento de instalación y calibración de cuchillas con el manual del fabricante, Realizar ensayos constantes para determinar calidad de elementos de corte, Diseñar y ejecutar un plan de capacitación para operadores y dotarlos de herramientas para realizar cambio y calibración de cuchillas.	Cada 2 días	Equipo de mantenimiento
	1	A	2	N	N	N	S	S	N	N				Reemplazar el aceite según programación sugerida por el fabricante, Validar que el lubricante cumpla con las especificaciones técnicas sugeridas por el fabricante, Realizar acciones preventivas programadas como medición y registro de temperatura de trabajo así como muestreos de aceite.	Cada día	Equipo de mantenimiento
	1	A	3	S	N	N	S	N	N	S				Validar procedimiento de instalación y calibración de cuchillas con el manual del fabricante, Realizar revisiones periódicas programadas para detectar fugas en el componente, Monitorear el nivel de aceite para detectar fugas internas y excesos.	Cada mes	Equipo de mantenimiento
	1	A	4	S	N	S	S	S	N	S				Validar que el lubricante cumpla con las especificaciones técnicas sugeridas por el fabricante, Realizar revisiones periódicas programadas para detectar fugas en el componente, Monitorear el nivel de aceite para detectar fugas internas y excesos.	Cada semana	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.
	1	A	5	N	N	N	S	S	N	S				Realizar revisiones periódicas para verificar el apriete del volante de inercia, asegurando así la vida útil del embrague, Diseñar y ejecutar un plan de capacitación para operadores y dotarlos de herramientas para realizar el ajuste del apriete del volante de inercia, Utilizar repuestos de calidad y seguir las instrucciones del fabricante al momento de realizar cualquier ajuste o reparación en el embrague.	Cada semana	Equipo de Mantenimiento / Equipo de Operación.

Anexo 24. Dibujo explosivo de los sub sistemas

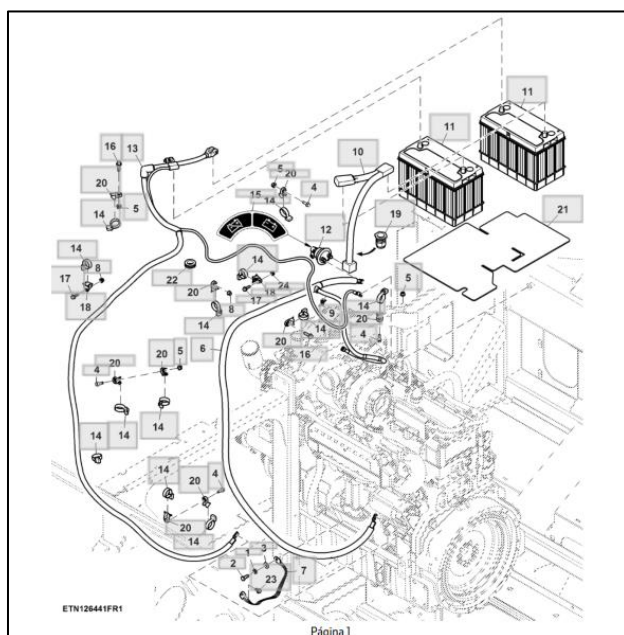
**Sistema eléctrico 2 (3121 Alternador - ST133493)**



Pieza	Cantidad requerida
1 - Alternador Número de pieza : AXE17691 Observaciones : 200 A, SUB FOR AH229090 OR AH212040	1
2 - Malla Número de pieza : AH214103	1
3 - Tornillo Número de pieza : 21M7250 Observaciones : M4 X 12	3
4 - Polea Número de pieza : H212818	1
5 - Arandela Número de pieza : 12M7131 Observaciones : 17 X 30 X 1.600 mm	1
6 - Tuerca Número de pieza : 14M7158 Observaciones : M16	1
7 - Tornillo Número de pieza : 19M7810 Observaciones : M10 X 80	1
8 - Tornillo Número de pieza : 19M7898 Observaciones : M10 X 130	1
9 - Tornillo Número de pieza : 21M7285 Observaciones : M6 X 12	3
10 - Tuerca con brida Número de pieza : 14M7298 Observaciones : M8	1
11 - Casquillo Número de pieza : RB4010	1
12 - Tuerca con brida	2

Pieza	Cantidad requerida
Número de pieza : 14M7296 Observaciones : M10	
13 - Grupo de cables Número de pieza : RE505489	1
14 - Tuerca de seguridad Número de pieza : 14M7265 Observaciones : M5, ORDER 12M7064 AND 14M7297	1
15 - Malla Número de pieza : AH214104	1
16 - Envoltura Número de pieza : T103917	1
17 - Arandela de seguridad Número de pieza : 12M7064 Observaciones : 5 mm, SUB FOR 12M7011	1
18 - Tuerca Número de pieza : 14M7297 Observaciones : M5	1

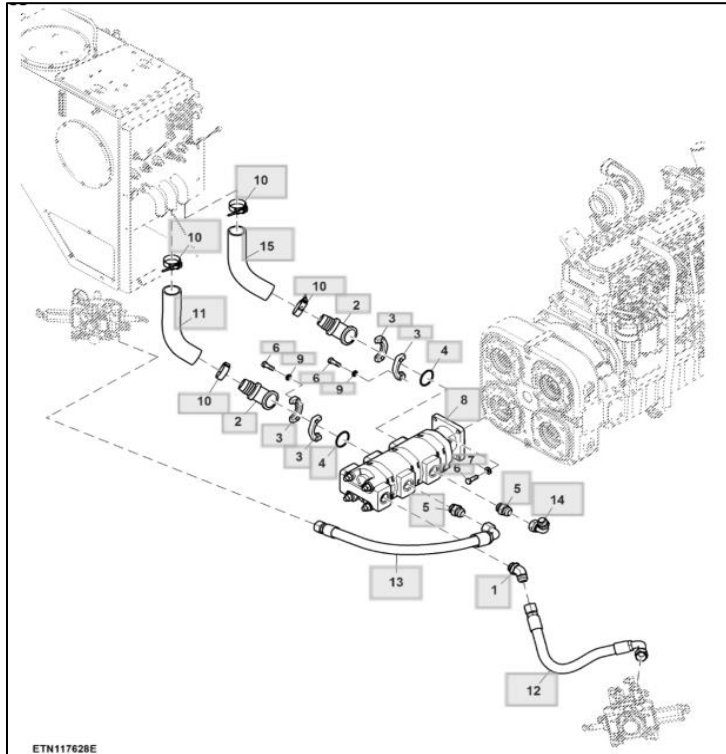
**Sistema eléctrico (Baterías y cables - ST1017214 Cosechadora de caña de azúcar CH570 (oruga) (S.N. -160455) Edición de América del norte - PC12586 > 40 Sistema eléctrico)**



Pieza	Cantidad requerida
1 - Arandela de seguridad Número de pieza : 12H304 Observaciones : 3/8"	1
2 - Tornillo Número de pieza : 19M7402 Observaciones : M10 X 25	1
3 - Arandela Número de pieza : 24H1219 Observaciones : 7/16" X 1" X 0.083"	1
4 - Tornillo autofrenante Número de pieza : NI0214	5
5 - Tuerca de seguridad Número de pieza : NI0215	5
6 - Cable de batería Número de pieza : CXT16081	1
7 - Cable de masa Número de pieza : R36545	1
8 - Tuerca de seguridad Número de pieza : 14M7396 Observaciones : M8	4
9 - Presilla Número de pieza : AH225363	1
10 - Cable de batería Número de pieza : CXT12262	1
11 - Batería con carga seca Número de pieza : TY25879 Observaciones : 12V	2
12 - Interruptor Número de pieza : AT4188	1
13 - Cable de batería Número de pieza : CXT16079	1

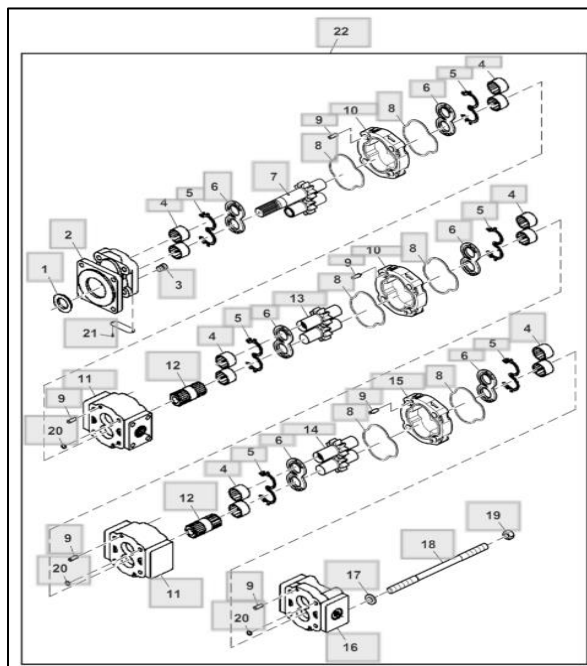
Pieza	Cantidad requerida
14 - Cinta de atar Número de pieza : H224073	24
15 - Etiqueta adhesiva Número de pieza : T268456 Observaciones : Desconectar	1
16 - Tornillo Número de pieza : 19H3693 Observaciones : 3/8" X 1-1/4"	2
17 - Tornillo Número de pieza : 19M7867 Observaciones : M8 X 25	3
18 - Abrazadera Número de pieza : H226339	3
19 - Terminal eléctrico Número de pieza : 0361352011	1
20 - Abrazadera Número de pieza : N380408	10
21 - Aislante Número de pieza : CXT16215	1
22 - Pasamuros Número de pieza : H96823	1
23 - Tornillo Número de pieza : 19M7865 Observaciones : M8 X 16	1
24 - Tuerca con brida Número de pieza : 14M7298 Observaciones : M8	1

## Sistema hidráulico 1 (Transmisión del elevador, rodillo de alimentación, tuberías y bomba del divisor de cultivo interior, estándar - ST1017252)



Pieza	Cantidad requerida	Pieza	Cantidad requerida
1 - Racor acodado Número de pieza : X16V50X-S	1	Observaciones : LGTH = 900 mm	
2 - Racor acodado Número de pieza : X1788-32-32	2	14 - Racor acodado Número de pieza : X39T3-16-16	1
3 - Conexión con brida Número de pieza : R37023	4	15 - Manguera Número de pieza : 0080052391 Observaciones : LGTH = 356 mm	1
4 - Anillo tórico Número de pieza : U46457	2		
5 - Racor adaptador Número de pieza : X16F50X-S	2		
6 - Tornillo Número de pieza : 19H2993 Observaciones : 1/2" X1-1/2"	12		
7 - Arandela Número de pieza : 0050021074	4		
8 - Bomba hidráulica Número de pieza : AXT14490 Observaciones : SUB FOR CB11462595	1		
9 - Arandela de seguridad Número de pieza : 12H301 Observaciones : 1/2"	8		
10 - Abrazadera Número de pieza : AT214753	4		
11 - Manguera hidráulica Número de pieza : CXT14536 Observaciones : LGTH = 340 mm	1		
12 - Manguera hidráulica Número de pieza : AXT11217 Observaciones : LGTH = 610 mm	1		
13 - Manguera hidráulica Número de pieza : 0881342195	1		

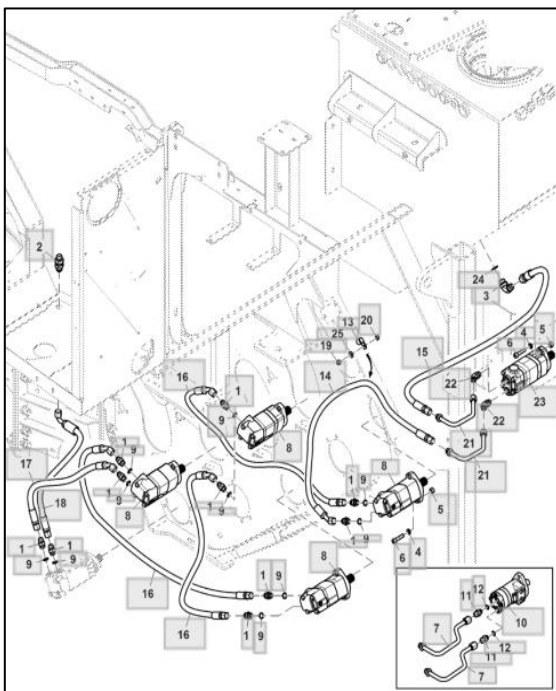
## Sistema hidráulico 2 (Transmisión del elevador, rodillo de Alimentación, componentes de la bomba del divisor de cultivo interior, estándar - ST821340)



Pieza	Cantidad requerida
1 - Retén Número de pieza : AT63055 Observaciones : USE WITH CB11462595	1
2 - Tapadera Número de pieza : 0631324555	1
3 - Tapón Número de pieza : 0050042102	1
4 - Juego de casquillos Número de pieza : AT180481 Observaciones : Set of 4	3
5 - Retén Número de pieza : 0631303679	6
6 - Kit de placas Número de pieza : 0631327326 Observaciones : ORDER T143335 ⓘ Esta pieza se ha reemplazado.	6
6 - Placa Número de pieza : T143335	6
7 - Engranaje Número de pieza : 0631333156	1
8 - Retén Número de pieza : T143333	6
9 - Pasador de centrado Número de pieza : 0330045274	12
10 - Caja de engranajes Número de pieza : 0631324561	2
11 - Carcasa Número de pieza : CB01438090	2
12 - Árbol Número de pieza : 0631303685	2

Pieza	Cantidad requerida
13 - Engranaje Número de pieza : 0631324565	1
14 - Engranaje Número de pieza : 0631328815	1
15 - Caja de engranajes Número de pieza : 0631328816	1
16 - Carcasa Número de pieza : CB01438138	1
17 - Arandela Número de pieza : 0630029380	4
18 - Espárrago Número de pieza : CB01438144	4
19 - Tuerca Número de pieza : T170067	4
20 - Anillo tórico Número de pieza : F304982	24
21 - Tornillo Número de pieza : CXT16139	2
22 - Bomba hidráulica Número de pieza : AXT14490 Observaciones : SUB FOR CB11462595	1

## Sistema hidráulico 3 (Tuberías de motores del rodillo de apoyo y el rodillo de alimentación, lado izquierdo - ST1017543)

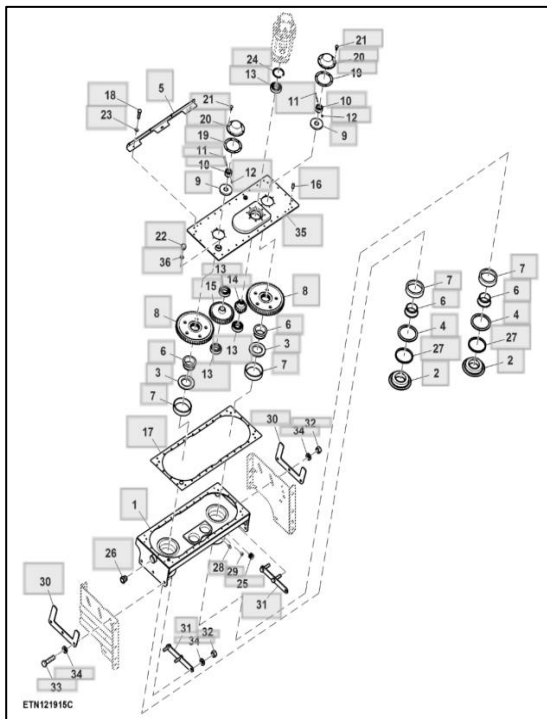


Pieza	Cantidad requerida
1 - Racor adaptador Número de pieza : X10F50X-S	10
2 - Unión de racor Número de pieza : X12W1X-WLN-S	1
3 - Racor acodado Número de pieza : AT32331	1
4 - Arandela de seguridad Número de pieza : 12H301 Observaciones : 1/2"	10
5 - Tuerca Número de pieza : 14H1040 Observaciones : 1/2"	10
6 - Tornillo Número de pieza : 19H3033 Observaciones : 1/2" X 2"	10
7 - Tubería Número de pieza : AX12394	2
8 - Motor hidráulico Número de pieza : AX13783 Observaciones : SUB FOR CB11480558	4
8 - Juego de retenes Número de pieza : CX120511 Observaciones : USE WITH AX13783	4
8 - Juego de retenes Número de pieza : CB11483723 Observaciones : USE WITH CB11480558	1
9 - Anillo tórico Número de pieza : R26906	10
10 - Motor hidráulico Número de pieza : AX12395	1

Pieza	Cantidad requerida
Observaciones : INCLUDES 0330013659 AND 0331335499	
10 - Llave Número de pieza : 0330013659	1
10 - Juego de retenes Número de pieza : AT130068 Observaciones : SUB FOR 0331335499	1
11 - Racor adaptador Número de pieza : H63597	2
12 - Anillo tórico Número de pieza : R26375 Observaciones : USE WITH H63597	2
13 - Abrazadera para mangueras Número de pieza : AT124557	1
14 - Manguera hidráulica Número de pieza : AX11181 Observaciones : LGTH = 1360 mm ⓘ Esta pieza se ha reemplazado.	1
15 - Manguera hidráulica Número de pieza : AX12433 Observaciones : LGTH = 3420 mm	1
16 - Manguera hidráulica Número de pieza : CB11427470 Observaciones : LGTH = 1042 mm	3
17 - Manguera hidráulica Número de pieza : CB11427525 Observaciones : LGTH = 559 mm	1
18 - Manguera hidráulica Número de pieza : CB11437139 Observaciones : LGTH = 1034 mm	1
19 - Tuerca de seguridad Número de pieza : T11234	1

Pieza	Cantidad requerida
20 - Arandela Número de pieza : 28H1518 Observaciones : 0.493" X 0.675" X 5/16" ⓘ Esta pieza se ha reemplazado.	1
21 - Tubería Número de pieza : AX13493	2
22 - Conexión Número de pieza : AT32338	2
23 - Motor Número de pieza : AX13788 Observaciones : SUB FOR CB11515841	1
23 - Juego de retenes Número de pieza : CB11483723 Observaciones : USE WITH CB11515841	1
23 - Juego de retenes Número de pieza : CX120510 Observaciones : USE WITH AX13788	1
24 - Anillo tórico Número de pieza : U12547 Observaciones : USE WITH AT32331	1
25 - Arandela Número de pieza : 24H1219 Observaciones : 7/16" X 1" X 0.083"	1

## Sistema base cortadora (Caja de cambios del cortador de base - ST1017527)

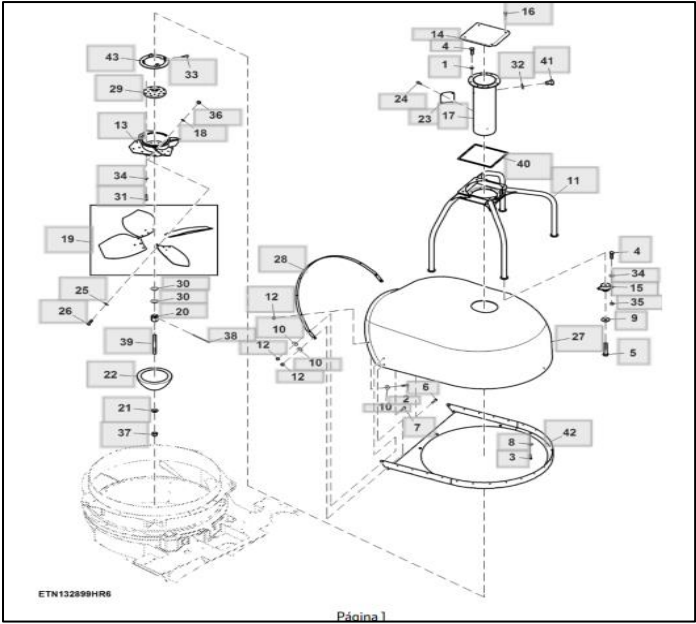


Pieza	Cantidad requerida
1 - Caja de engranajes Número de pieza : CB01477267	1
2 - Adaptador Número de pieza : CB01478047	2
3 - Retén Número de pieza : CB01477812	2
4 - Retén Número de pieza : CB01477813	2
5 - Revestimiento Número de pieza : CB01434199	2
6 - Cono del cojinete Número de pieza : JD9051	4
7 - Pista ext. de rodamiento Número de pieza : JD9116	4
8 - Engranaje Número de pieza : CB01418406 Observaciones : Z = 66	2
9 - Arandela Número de pieza : CB01418422	2
10 - Tuerca Número de pieza : 14H991 Observaciones : 1-V2"	2
11 - Tornillo Número de pieza : 19H3888 Observaciones : 5/16" X 2-3/4"	2
12 - Tuerca de seguridad Número de pieza : T16464	2
13 - Rodamiento de bolas Número de pieza : JD9279	4
14 - Piñón	1

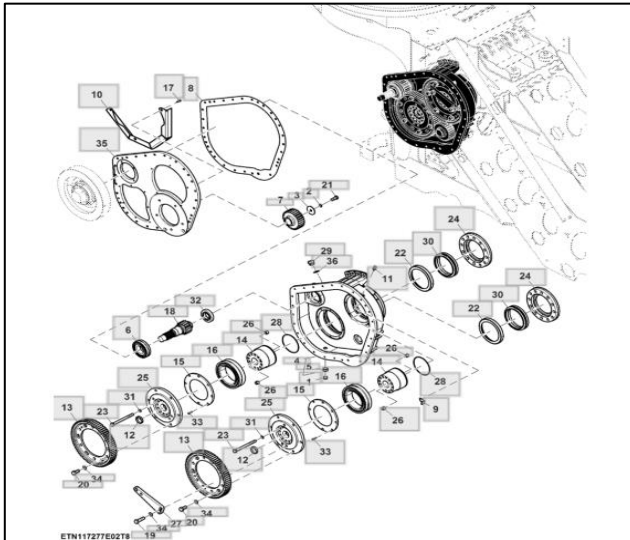
Pieza	Cantidad requerida
Número de pieza : CB01437885 Observaciones : Z = 19	
15 - Piñón Número de pieza : CB01418408 Observaciones : Z = 42	1
16 - Pasador de centrado Número de pieza : 0131348960	2
17 - Junta Número de pieza : CB01436944	1
18 - Tornillo Número de pieza : 19H3239 Observaciones : 3/8" X 1-1/4"	30
19 - Junta Número de pieza : 0390016102	2
20 - Tapa Número de pieza : 0390016101	2
21 - Tornillo Número de pieza : 19H1227 Observaciones : 1/4" X 1/2"	12
22 - Tapón de vaciado Número de pieza : R36636	1
23 - Arandela de seguridad Número de pieza : 12H304 Observaciones : 3/8"	30
24 - Anillo elástico Número de pieza : 40M7118	1
25 - Tapón roscado Número de pieza : 0711349370	3
26 - Tapón de nivel Número de pieza : AT119301	1
27 - Junta trapezoidal	2

Pieza	Cantidad requerida
Número de pieza : CB01477814	
28 - Engrasador Número de pieza : JD7759	2
29 - Válvula de retención Número de pieza : 0570005455	2
30 - Placa Número de pieza : CB01438263	2
31 - Soporte Número de pieza : CB01420671	2
32 - Tuerca Número de pieza : 14H1058 Observaciones : 3/4"	6
33 - Tornillo Número de pieza : 19H2728 Observaciones : 3/4" X 3"	2
34 - Arandela Número de pieza : T83426	8
35 - Tapadera Número de pieza : AX11509	1
36 - Anillo tórico Número de pieza : R29936	1

**Capó del extractor principal y montaje de la hoja niveladora - ST1017676 Cosechadora de caña de azúcar CH570 (oruga) (S.N. -160455) Edición de América del norte - PC12586 > 160 Extractor primario.**



**Conjunto picador - Componentes de caja de cambios del picador - ST1011771**  
**Cosechadora de caña de azúcar CH570 (oruga) (S.N. -160455) Edición de América del**  
**norte - PC12586 > 150 Sistema de alféizar y picador.**



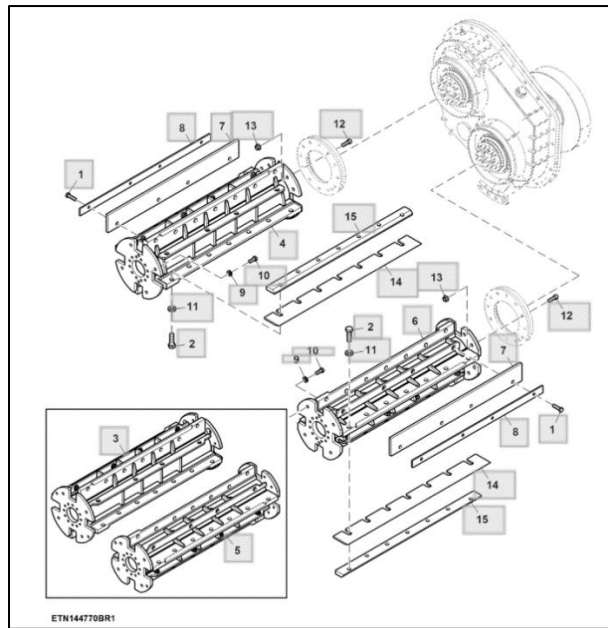
Pieza	Cantidad requerida
1 - Tapón roscado Número de pieza : 0390033344	1
2 - Arandela de seguridad Número de pieza : 124294 Observaciones : 5/8"	1
3 - Arandela Número de pieza : 24H1852 Observaciones : 21/32" X 2-3/4" X 0.180"	1
4 - Caja de engranajes Número de pieza : AXTH153	1
5 - Manguito adaptador Número de pieza : 0090022766	1
6 - Rodamiento rodillos esfér. Número de pieza : CB01419254	1
7 - Engranaje Número de pieza : CB01467061 Observaciones : Z = 29	1
8 - Junta Número de pieza : CXT13071	1
9 - Embudo Número de pieza : CXT12011	1
10 - Tapadera Número de pieza : CB01490732	1
11 - Racor adaptador Número de pieza : X6-2FTX-5	1
12 - Tapón hermético Número de pieza : 0091348702	2
13 - Engranaje Número de pieza : CB01417877 Observaciones : Z = 75	2

Pieza	Cantidad requerida
14 - Cubo Número de pieza : AXTH13179	2
15 - Placa Número de pieza : CXT12105	2
16 - Cojinete Número de pieza : 0121348831 Observaciones : ORDER DE31280 ⊙ Esta pieza se ha reemplazado.	2
16 - Cojinete Número de pieza : DE31280	2
17 - Tornillo Número de pieza : H77932	4
18 - Eje con piñón Número de pieza : CE31728	1
19 - Tornillo Número de pieza : 19H2411 Observaciones : 3/4" X 2-1/2"	2
20 - Tornillo Número de pieza : 19H2716 Observaciones : 3/4" X 1-1/2"	12
21 - Tornillo Número de pieza : 19M7488 Observaciones : M16 X 40	1
22 - Anillo de sellado Número de pieza : AXTH12969	2
23 - Tornillo Número de pieza : 08H4705 Observaciones : 5/8" X 7-1/2"	24
24 - Anillo de sellado Número de pieza : AXTH12970	2
25 - Cubo	2

Pieza	Cantidad requerida
Número de pieza : AXTH12968	
26 - Espaciador Número de pieza : CXT11400	8
27 - Palanca Número de pieza : CE32796 ⊙ Esta pieza se ha reemplazado.	1
28 - Anillo tórico Número de pieza : 0151300689	2
29 - Tapón de vaciado Número de pieza : R36636	1
30 - Retén Número de pieza : CB01465465	2
31 - Arandela Número de pieza : R73290	24
32 - Rodamiento rodillos cil. Número de pieza : JD9512	1
33 - Tornillo Número de pieza : 19H2923 Observaciones : 3/8" X 1" ⊙ Esta pieza se ha reemplazado.	16
34 - Arandela Número de pieza : T83426	14
35 - Tapadera Número de pieza : CXT14061	1
36 - Anillo tórico Número de pieza : R29936	1

**Conjunto picador. Eje del picador, 8 cuchillas, estándar - ST1017653 Cosechadora de caña de azúcar CH570 (oruga) (S.N. -160455) Edición de América del norte - PC12586**

> 150 Sistema de alféizar y picador.

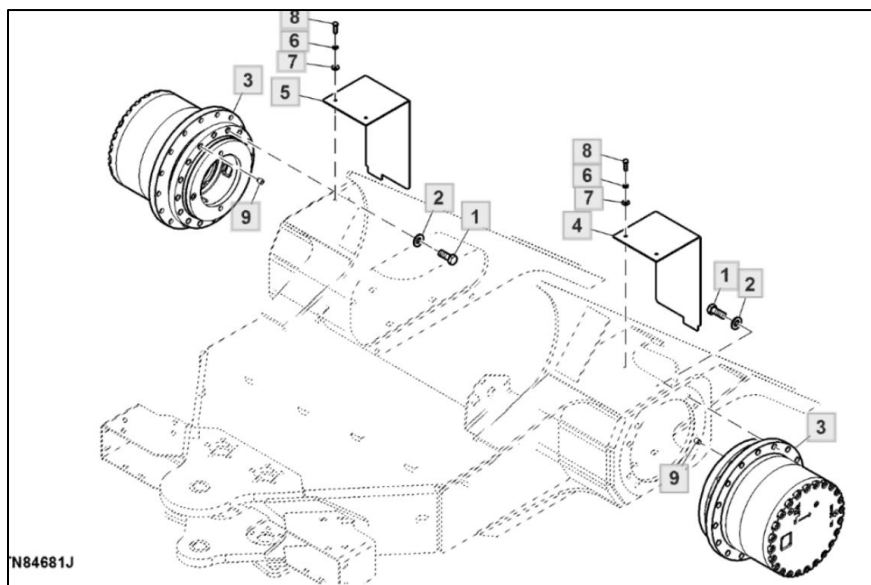


Pieza	Cantidad requerida
1 - Tornillo Número de pieza : 19H2473 Observaciones : 1/2" X 1-3/4"	32
2 - Tornillo Número de pieza : 19H3188 Observaciones : 3/4" X 2-1/4"	56
3 - Rodillo Número de pieza : AXT12959 Observaciones : ORDER AXT11093	1
4 - Tambor Número de pieza : AXT11093	1
5 - Tambor Número de pieza : AXT12960 Observaciones : ORDER AXT11094	1
6 - Tambor Número de pieza : AXT11094	1
7 - Correa plana Número de pieza : CXT13011 Observaciones : 835 X 96.500 mm [32.874" X 3.799"]	8
8 - Placa Número de pieza : CXT13012	8
9 - Arandela Número de pieza : 0050021074 Observaciones : 14.402 X 25.654 X 5.055 mm [0.567" X 1.010" X 0.199"]	8
10 - Tornillo Número de pieza : 19H2993 Observaciones : 1/2" X 1-1/2"	8
11 - Arandela Número de pieza : T83426	56
12 - Tornillo Número de pieza : 19M8824	16

Pieza	Cantidad requerida
Observaciones : M12 X 50	
13 - Tuerca con brida Número de pieza : 14M7688 Observaciones : M12	16
14 - Hoja Número de pieza : CXT19180 ⓘ Esta pieza se ha reemplazado.	8
15 - Placa Número de pieza : CXT33921 Observaciones : SUB FOR CXT13010	6

**Protecciones y reducción final por planetarios - ST1017945 Cosechadora de caña de azúcar (rueda) CH570 (S.N. -160455) Edición de América del norte - PC12587 > 57**

**Rueda**



Pieza	Cantidad requerida
1 - Tornillo Número de pieza : CXT17471 Observaciones : M20 X 50	16
2 - Arandela Número de pieza : 24M7242 Observaciones : 21.400 X 42 X 5 mm	16
3 - Mando Número de pieza : DE31817 Observaciones : SUB FOR DE31284 OR DE31312 OR DE31310	2
4 - Revestimiento Número de pieza : CXT17500 Observaciones : RH	1

5 - Revestimiento Número de pieza : CXT17499 Observaciones : LH	1
6 - Arandela de seguridad Número de pieza : 12H304 Observaciones : 3/8"	4
7 - Arandela Número de pieza : 24H1211 Observaciones : 9/16" X 1-3/8" X 0.105"	4
8 - Tornillo Número de pieza : 19H3239 Observaciones : 3/8" X 1-1/4"	4
9 - Tornillo de fijación Número de pieza : 22M7138 Observaciones : M20 X 25	16