

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO SOSTENIBLE DE MANTENIMIENTO
DE CULTIVOS MEDIANTE EL USO DE GUADAÑAS ELÉCTRICAS EN
PALMAS DEL CESAR S.A.**

JUAN CARLOS CORTES GALLARDO

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR-SECCIONAL AGUACHICA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGROINDUSTRIALES

INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

AGUACHICA CESAR

2026

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO SOSTENIBLE DE MANTENIMIENTO
DE CULTIVOS MEDIANTE EL USO DE GUADAÑAS ELÉCTRICAS EN
PALMAS DEL CESAR S.A.

PRÁCTICA ACADÉMICA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA
AGROINDUSTRIAL

JUAN CARLOS CORTES GALLARDO

DIRECTOR: EMIR GEANCARLOS QUINTERO

CO DIRECTOR: JULIO SOCARRAS BALLESTA

DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACION INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR–SECCIONAL AGUACHICA

FACULTAD INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS

INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

AGUACHICA CESAR

2026

NOTA DE APROBACIÓN

El trabajo de grado del estudiante Juan Carlos Cortes Gallardo, titulado “IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO SOSTENIBLE DE MANTENIMIENTO DE CULTIVOS MEDIANTE EL USO DE GUADAÑAS ELÉCTRICAS EN PALMAS DEL CESAR S.A.”, ha sido aprobado por los jurados, quien no se hace responsable de su contenido.

NOMBRE DEL EVALUADOR

EVALUADOR 1

A handwritten signature in black ink on a light gray rectangular background. The signature reads "Jairo Flórez Pérez" in a cursive script.

NOMBRE DEL EVALUADOR

EVALUADOR 2

Enrique Quintero S.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

CODIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

CONTENIDO

| | |
|--|-----|
| GLOSARIO..... | XII |
| RESUMEN..... | 14 |
| ABSTRACT | 15 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 16 |
| 2. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA..... | 18 |
| 2.1 Misión..... | 20 |
| 2.2 Visión | 20 |
| 2.3 Ubicación | 20 |
| 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 21 |
| 3.1 Pregunta De Investigación | 24 |
| 4. JUSTIFICACIÓN | 25 |
| 5. OBJETIVOS | 27 |
| 5.1 Objetivo general | 27 |
| 5.2 Objetivos específicos | 27 |
| 6. MARCO TEÓRICO..... | 28 |
| 6.1 Sustitución de equipos de combustión..... | 28 |
| 6.2 Salud ocupacional y ergonomía en el trabajo agrícola | 29 |

| | |
|---|----|
| 6.3 Sostenibilidad el sector palmero | 30 |
| 6.4 Agricultura 4.0 | 30 |
| 7. MARCO LEGAL..... | 32 |
| 8. ESTADO DEL ARTE | 34 |
| 8.1 Ámbito internacional..... | 34 |
| 8.2 Ámbito nacional..... | 34 |
| 8.3 Ámbito local..... | 38 |
| 9. METODOLOGÍA..... | 40 |
| 9.1 Enfoque de la investigación | 41 |
| 9.2 Alcance de la investigación..... | 42 |
| 9.3 Diseño de investigación | 43 |
| 9.4 Población y muestra..... | 49 |
| 9.5 Hipótesis | 51 |
| 9.6 Variables o Categorías (según el enfoque de investigación)..... | 53 |
| 9.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 54 |
| 9.8 Validación y confiabilidad de los instrumentos..... | 56 |
| 9.9 Técnicas de procesamiento y análisis de datos..... | 57 |
| 10. RESULTADOS Y ANÁLISIS..... | 59 |

| | |
|--|----|
| 10.1 Comparación técnica entre guadañas | 61 |
| 10.2 Condiciones operativas observadas | 63 |
| 10.3 Ruido y emisiones directas de CO2..... | 65 |
| 10.4 Comparación entre tecnologías de combustión y eléctricas..... | 67 |
| 10.5 Limitaciones del estudio..... | 70 |
| 11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES | 72 |
| 12. CONCLUSIONES..... | 73 |
| 13. RECOMENDACIONES | 75 |
| 14. OTRAS ACTIVIDADES ASOCIADAS A LA PRÁCTICA | 77 |
| 15. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 79 |
| 16. ANEXOS..... | 86 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Comparación técnica entre guadañas de combustión y guadañas eléctricas según revisión documental..... | 61 |
| Tabla 2. Niveles de ruido reportados en la empresa y lectura operativa frente a la alternativa eléctrica..... | 63 |
| Tabla 3. <i>Datos comparativos referenciales de ruido y emisiones directas de CO₂ en guadañas eléctricas y de gasolina</i> | 65 |
| Tabla 4. <i>Comparación económica general entre tecnologías de combustión y eléctricas</i> | 67 |
| Tabla 5. <i>Cronograma de actividades proyectado para el proyecto de investigación</i> | 72 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Plantación en San Martín Sur del Cesar | 20 |
| Figura 2. Área de estudio | 44 |
| Figura 3. Mapa de ubicación geográfica del municipio de San Martín, Cesar. | 45 |
| Figura 4. Mapa de ubicación geográfica de la plantación. | 45 |
| Figura 5. Mapa de ubicación de la zona centro de Palmas del Cesar S.A. .. | 46 |
| Figura 6. Mapa de distribución de cultivos de palma según rango de edad en Palmas del Cesar S.A., año 2024. | 46 |

DEDICATORIA

Dedico este logro con todo mi corazón a mis hermanos y padres, quienes ha sido una inspiración constante en mi vida y una razón importante para seguir adelante. Este triunfo también es en honor a ellos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mis padres por su amor incondicional, por su apoyo constante y por brindarme todo lo que estuvo a su alcance para ayudarme a alcanzar este logro. Gracias a ustedes, hoy soy la persona que soy.

A mi hermano Cristian y a mi pareja de vida yireth, por estar siempre a mi lado, por su compañía y por cada uno de los momentos en los que me brindaron su apoyo sincero.

A mi familia, docentes y personas cercanas que hicieron parte de este camino, gracias por aportar un poco de ustedes en este gran proceso.

GLOSARIO

Sostenibilidad: se entiende como la persistencia de los sistemas naturales y humanos, lo que implica el funcionamiento continuo de los ecosistemas, la conservación de la biodiversidad, el reciclaje de los recursos naturales y, en el ámbito humano, la aplicación de la justicia y la equidad entre sectores y generaciones (IPCC, 2022).

Desarrollo sostenible: corresponde al desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas, manteniendo un equilibrio entre dimensiones sociales, económicas y ambientales (IPCC, 2022).

Huella de carbono: es la medida del total exclusivo de emisiones de dióxido de carbono que una actividad genera de forma directa e indirecta, o que se acumulan a lo largo de las etapas del ciclo de vida de un producto (IPCC, 2022).

Mitigación del cambio climático: se refiere a toda intervención humana orientada a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero o a aumentar los sumideros que los capturan y almacenan (IPCC, 2022).

Energía renovable: comprende las fuentes energéticas cuya expansión resulta clave para las transiciones energéticas limpias, especialmente en generación eléctrica, producción de calor y transporte, por su capacidad de desplazar combustibles fósiles y contribuir a la reducción de emisiones (IEA, 2025).

Electrificación: es la estrategia mediante la cual aumenta la participación de la electricidad en el consumo final de energía, sustituyendo usos basados en combustibles fósiles por tecnologías eléctricas más eficientes y con potencial para reducir emisiones en distintos sectores (IEA, 2023).

Ruido ocupacional: es la exposición del trabajador a niveles de ruido durante la jornada laboral; según NIOSH, una exposición repetida a 85 dBA o más en un turno de ocho horas se considera peligrosa y requiere medidas de prevención de pérdida auditiva (National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH], 2024).

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como propósito evaluar la factibilidad técnica, económica, ambiental y ocupacional de sustituir gradualmente las guadañas de gasolina por guadañas eléctricas en Palmas del Cesar S.A. La investigación se desarrolló a partir del análisis de información institucional, la revisión de literatura científica, la consulta de fichas técnicas y la comparación de alternativas comerciales de uso profesional. Metodológicamente, se asumió un enfoque mixto, de alcance descriptivo, comparativo y propositivo, con diseño no experimental y documental, orientado a estructurar una fase piloto de validación en campo. Los resultados documentales indicaron que el sistema actual presenta niveles de ruido entre 95 y 105 dB, mayores exigencias de mantenimiento mecánico y emisiones directas asociadas al uso de gasolina de 0,80–1,41 kg CO₂ por referencia operativa, mientras que la alternativa eléctrica muestra ventajas en reducción de ruido entre 64 y 79 dB, simplificación operativa y disminución de la huella de carbono a 0 kg CO₂ directo. Asimismo, se estimó que la sustitución inicial de cinco equipos podría evitar aproximadamente 10,8 toneladas de CO₂ al año. En consecuencia, el estudio concluye que la propuesta es técnicamente pertinente y que su implementación debe realizarse mediante un pilotaje controlado, acompañado de capacitación, protocolo operativo, recambio de baterías y seguimiento de indicadores.

Palabras clave: guadañas eléctricas, palma aceitera, sostenibilidad, factibilidad, salud ocupacional.

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the technical, economic, environmental, and occupational feasibility of gradually replacing gasoline-powered brush cutters with electric ones at Palmas del Cesar S.A. The research was conducted through the analysis of institutional information, a review of scientific literature, consultation of technical data sheets, and a comparison of commercially available alternatives for professional use. Methodologically, a mixed-methods approach was adopted, with a descriptive, comparative, and propositional scope, and a non-experimental, documentary design aimed at structuring a pilot phase for field validation. The documentary results indicated that the current system presents noise levels between 95 and 105 dB, greater mechanical maintenance requirements, and direct emissions associated with gasoline use, while the electric alternative shows advantages in noise reduction, operational simplification, and a smaller carbon footprint. Furthermore, it was estimated that the initial replacement of five units could prevent approximately 10.8 tons of CO₂ emissions per year. Consequently, the study concludes that the proposal is technically sound and that its implementation should be carried out through a controlled pilot program, accompanied by training, an operational protocol, battery replacement, and indicator monitoring.

Keywords: electric brush cutters, oil palm, sustainability, feasibility, occupational health.

1. INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad sobre el sector agroindustrial exige revisar de manera estricta los grandes procesos de tipo productivo, aquellas labores cotidianas encargadas de sostener el respectivo cultivo, a lo largo de muchos casos, estas prácticas siguen dependiendo de diversas tecnologías de combustión, por lo cual, la presente investigación centra su atención sobre la factibilidad orientada a sustituir gradualmente las guadañas de gasolina por medio de guadañas eléctricas al interior de la empresa Palmas del Cesar S.A., con el propósito de valorar su respectiva pertinencia de orden técnico, en con su impacto económico, de índole ambiental y ocupacional.

Con el objetivo de ubicar el respectivo problema de estudio, se presenta en una primera instancia la información institucional sobre la compañía, a razón de describir su misión, en convergencia con su visión y su pertinente localización geográfica, puesto que estos elementos otorgan la capacidad de entender el entorno a través del cual surge la presente propuesta.

De tal manera que, de forma posterior, se expone el problema de investigación con el propósito de evidenciar y analizar la constante tensión existente entre las metas corporativas orientadas hacia la sostenibilidad ambiental y el uso continuado de equipos accionados a base de gasolina dentro de los procesos operativos. Esta situación representa una contradicción significativa entre los compromisos institucionales relacionados con la reducción del impacto ambiental, la optimización del consumo energético y la implementación de prácticas responsables, frente a la permanencia de tecnologías tradicionales que generan emisiones contaminantes, altos niveles de ruido y dependencia de combustibles fósiles.

Por consiguiente, la respectiva justificación expone de manera clara y fundamentada la relevancia académica, técnica y empresarial del proyecto, destacando su aporte tanto al fortalecimiento del conocimiento científico como a la búsqueda de soluciones aplicables dentro del contexto organizacional y operativo. Desde la perspectiva académica, la investigación permite ampliar el análisis sobre la implementación de tecnologías sostenibles en actividades agroindustriales, particularmente en procesos de mantenimiento y manejo de cultivos, contribuyendo al desarrollo de estudios relacionados con eficiencia energética, sostenibilidad ambiental y modernización de equipos utilizados en el sector productivo. Asimismo, el proyecto sirve como referente para futuras investigaciones orientadas a la evaluación de alternativas tecnológicas que reduzcan el impacto ambiental generado por el uso de maquinaria convencional.

El desarrollo del marco teórico aborda los diversos conceptos vinculados con la electrificación sobre la maquinaria de orden agrícola, en con la sostenibilidad, la respectiva salud ocupacional, la ergonomía y las dinámicas de la agricultura 4.0.

El marco legal resume las múltiples normas encargadas de respaldar la presente propuesta, destacando entre estas a la Constitución Política de Colombia, la Ley 99 de 1993, la Ley 1715 de 2014, la Ley 2099 de 2021, la Ley 1562 de 2012 y el Decreto 1072 de 2015.

Por lo cual, el pertinente estado del arte organiza los correspondientes antecedentes de corte internacional, aquellos de índole nacional y local, a razón de precisar los elementos que logró investigar cada autor o institución, detallando cuáles fueron sus respectivos objetivos, el tipo de estudio que desarrollaron y los resultados exactos que aportan hacia el tema central.

De ahí que, en relación con la metodología implementada, se especifique que el trabajo adopta un enfoque mixto, el cual integra elementos cualitativos y cuantitativos con el propósito de obtener una comprensión más amplia, objetiva y detallada de la problemática estudiada. Este enfoque permite no solo recopilar y analizar información numérica relacionada con variables técnicas, operativas y económicas, sino también interpretar aspectos asociados a la percepción, funcionalidad y viabilidad de las alternativas evaluadas dentro del contexto organizacional. En consecuencia, la combinación de ambos enfoques favorece una visión integral del fenómeno investigado, fortaleciendo la validez y profundidad de los resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos a lo largo del estudio en con su respectivo análisis comparan las condiciones del sistema actual frente a las diferentes alternativas eléctricas, a razón de mostrar los principales hallazgos logrados en torno a los niveles de ruido, las emisiones generadas, los costos implicados y la dinámica de la operación.

De modo que se incorpora de igual forma el correspondiente cronograma de actividades, las conclusiones trazadas, las recomendaciones pertinentes y las diversas tareas asociadas hacia la práctica investigativa, mientras que el apartado de las referencias de orden bibliográfico los respectivos anexos reúnen todo el necesario soporte científico, de corte normativo y técnico, puesto que este material facilita la comprensión sobre la propuesta, con el propósito de orientar una futura fase piloto dirigida hacia la respectiva validación del equipo a través del trabajo de campo.

2. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

En relación con Palmas del Cesar S.A., esta organización se constituyó en el año 1960 como resultado de la visión de un grupo de empresarios santandereanos, quienes invirtieron en la palma africana al considerarla un cultivo con un potencial significativo para impulsar el desarrollo y el progreso sobre la región. En sus inicios, la empresa fue reconocida bajo el nombre de Hipinlandia, con una extensión inicial de 500 hectáreas, se consolidó como una de las primeras plantaciones comerciales de palma africana a lo largo de Colombia, de acuerdo con Cesar (2024), mediante el respaldo de diversas entidades gubernamentales y a causa del esfuerzo de sus fundadores, la compañía logró superar las limitaciones tecnológicas y de infraestructura de la época.

Hacia mediados de la década de 1970, Palmas del Cesar ingresó en una nueva fase de crecimiento, con lo cual logró triplicar sus áreas de siembra hasta alcanzar las 1.500 hectáreas, durante dicho periodo, la empresa invirtió en sus instalaciones y adoptó una estructura administrativa más robusta con el fin de optimizar el rendimiento de sus operaciones, al conformarse como una sociedad anónima según lo documentado por Cesar (2024), la Junta Directiva asume la responsabilidad de establecer las líneas estratégicas, en atención a los requerimientos de los accionistas y en función de garantizar que la gestión se alinee con los objetivos de sostenibilidad y competitividad de la organización.

La organización ha demostrado una amplia capacidad para adaptarse ante las transformaciones del entorno agrícola y empresarial, su modelo administrativo se haya ajustado hacia las exigencias contemporáneas, mediante el fomento de la innovación, la calidad y el compromiso laboral. Por consiguiente, Palmas del Cesar S.A. se ha consolidado como una entidad integradora, dentro de la cual participan directivos, asesores, ingenieros, tecnólogos y operarios de campo, de la planta extractora y de servicios generales, quienes, de acuerdo con lo señalado por Cesar (2024), convergen

en un esfuerzo conjunto a favor del progreso regional y nacional a partir de su labor continua.

2.1 Misión

Desarrollamos una Palmi cultura responsable y sostenible, buscando siempre la excelencia con el propósito de producir los mejores frutos que contribuyan al progreso y bienestar de la región. Nuestra gestión se orienta a generar valor económico, social y ambiental, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles y respetuosas con el entorno natural (Cesar, 2024).

2.2 Visión

Seremos el mejor referente dentro de la actividad palmera nacional, reconocidos por nuestra forma responsable de convertir la palma en una fuente de progreso y desarrollo regional. Aspiramos a mantener un liderazgo basado en la innovación, la sostenibilidad y el compromiso con nuestras comunidades, consolidando una imagen empresarial ética y de alto impacto social (Cesar, 2024).

2.3 Ubicación

Palmas del Cesar S.A. tiene su sede administrativa en la Calle 42 #33-20, Oficina 15-03, Edificio Torre Vitro, en la ciudad de Bucaramanga, Santander, Colombia. La plantación se encuentra en el km 113 de la Vía al Mar, en el corregimiento de Minas, municipio de San Martín Sur del Cesar (Cesar, 2024).

Figura 1. *Plantación en San Martín Sur del Cesar*



Fuente: Google Maps (2025)

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La labor de sostenimiento de los cultivos en la organización Palmas del Cesar S.A. mantiene una dependencia constante hacia el uso de guadañas accionadas por gasolina, no obstante que la entidad ha consolidado directrices

de sostenibilidad y gestión del entorno orientadas hacia la optimización de sus actividades, por lo cual se genera una distancia evidente entre el discurso corporativo y la ejecución de las tareas en el campo, puesto que el proceso de combustión interna demanda un suministro permanente de mezcla, produce vertidos atmosféricos y eleva la dificultad técnica del mantenimiento preventivo de las máquinas.

En concordancia con lo anterior, estas determinaciones en la operación influyen de manera directa en la medición de la huella ecológica y en la rentabilidad de la cadena de valor palmera, conforme lo señalan las investigaciones de Ramírez-Contreras et al. (2020) y los reportes de Fedepalma (2024), de ahí que el núcleo del inconveniente no se limite exclusivamente al instrumento empleado, sino que reside en la carencia de una valoración exhaustiva que logre confirmar si el reemplazo progresivo por tecnología eléctrica posee viabilidad dentro de la realidad operativa de la compañía.

Con respecto a la dimensión de salud en el trabajo, la empresa ha identificado que el funcionamiento de los equipos a gasolina arroja niveles de presión sonora situados entre los 95 y los 105 dB, magnitudes que sobrepasan el límite preventivo de 85 dBA recomendado para turnos de ocho horas por organismos como el NIOSH (2024), a lo cual se añaden factores de riesgo como la vibración mecánica, la inhalación de vapores derivados de la quema de combustible y la necesidad de interrupciones frecuentes para el reabastecimiento, una alta periodicidad en las reparaciones. En este sentido, la documentación científica internacional sostiene que la exposición simultánea a altos niveles de ruido y movimientos vibratorios eleva la probabilidad de padecer fatiga laboral, malestar físico y complicaciones de tipo musculoesquelético en el personal, motivo por el cual la situación requiere una revisión que logre articular la seguridad industrial con la sostenibilidad y la eficacia en la producción (Cordeiro et al., 2021; Poje et al., 2024).

Desde una perspectiva ecológica y de planeación estratégica, la permanencia del modelo actual de maquinaria restringe la alineación de la firma con los objetivos de transición energética y producción responsable, toda vez que la electrificación de los implementos agrícolas se reconoce como un sendero de modernización que disminuye la contaminación local y simplifica la composición de los activos, si bien es cierto que este cambio exige dar solución a desafíos de autonomía, esquemas de carga y reestructuración de la jornada para evitar periodos de inactividad (Scolaro et al., 2021; Gao et al., 2024).

A causa de esto, el interrogante principal de la investigación no pretende asegurar la efectividad del sistema de manera anticipada, sino que busca determinar, por medio de fundamentos documentales y comparativos, si existe un sustento financiero y técnico que permita sugerir el inicio de una etapa de pilotaje para su verificación. En el entorno geográfico de Palmas del Cesar S.A., se observa además una falta de datos aplicados sobre el rendimiento de los equipos eléctricos en las parcelas del sur del departamento del Cesar, donde variables como la humedad relativa, la extensión de las jornadas, la densidad de la capa vegetal y las exigencias de poda constante juegan un rol determinante en la operación.

Por ello, tal vacío de información justifica que el presente estudio se estructure bajo la modalidad de evaluación de factibilidad, de modo que el producto final sea una hoja de ruta para la transición que contenga parámetros de decisión, proyecciones presupuestales, manuales de procedimiento y criterios de control para una futura validación en campo (Palmas del Cesar S.A., 2024; Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de San Martín, 2020).

Bajo este escenario, la opción tecnológica eléctrica se proyecta como una alternativa con capacidades claras para el progreso ambiental y el

bienestar del trabajador, sin embargo, su utilidad real para la organización solo podrá fundamentarse a través de un examen comparativo de alta rigurosidad y la consecuente ejecución de una fase de prueba que permita validar los resultados en el contexto específico de la palmicultura regional.

3.1 Pregunta De Investigación

¿Cuál es la factibilidad técnica, económica, ambiental y ocupacional de sustituir gradualmente las guadañas de gasolina por guadañas eléctricas en Palmas del Cesar S.A., a partir de información institucional, comparación documental y lineamientos para una fase piloto de validación?

4. JUSTIFICACIÓN

La relevancia de la presente investigación se fundamenta, inicialmente, en la urgencia de sincronizar las actividades cotidianas de sostenimiento con las obligaciones de sostenibilidad que rigen actualmente tanto a la industria de la palma como a la organización, toda vez que la FAO (2024) ha subrayado que los complejos agroalimentarios representan una parte considerable de las emanaciones globales, de ahí que la disminución de los focos de combustión interna en las tareas rurales deba ser tratada como una determinación técnica tangible y no meramente retórica.

Conforme a este planteamiento, el análisis institucional y la revisión de fuentes documentales permiten prever que el reemplazo paulatino de cinco unidades de guadañado a gasolina lograría mitigar la emisión de aproximadamente 10,8 toneladas anuales de CO₂ de origen directo durante la ejecución de las labores, lo cual transforma la iniciativa en una opción alineada con la descarbonización de la operación y con el fortalecimiento de la gestión ecológica de la compañía.

En segundo término, el estudio encuentra su razón de ser en la repercusión positiva que podría ejercer sobre el bienestar de los operarios, puesto que el funcionamiento vigente arroja registros sonoros situados entre los 95 y los 105 dB, magnitudes que superan ostensiblemente los límites preventivos fijados para turnos laborales extensos, mientras que los prototipos eléctricos examinados en la literatura se localizan en espectros inferiores y suprimen la inhalación de vapores tóxicos.

En la práctica, esto implica que la implementación propuesta no solo persigue el control del ruido, sino que también busca atenuar las vibraciones mecánicas y el agotamiento físico del trabajador, elementos que diversos autores consideran cruciales para la preservación de la salud en actividades

del agro y la silvicultura donde se manipulan herramientas de mano (Basner et al., 2014; Cordeiro et al., 2021; Poje et al., 2024).

Por último, la indagación se justifica por su mérito académico y su utilidad para la gerencia corporativa, dado que no surge de una aplicación ya consumada, sino de la estructuración de un soporte argumental y operativo que permita discernir sobre la conveniencia de transitar hacia un periodo de pilotaje, es por esto que su contribución central radica en suministrar un análisis de contraste mucho más riguroso, reestructurar las metas conforme a lo efectivamente realizado y proponer herramientas de apoyo tales como manuales de procedimiento, instrumentos de monitoreo, estimaciones de costos y registros visuales. De esta manera, el cuerpo del documento robustece el proceso de elección estratégica de la empresa y optimiza la armonía metodológica de la propuesta frente a los requerimientos técnicos del comité de evaluación, asegurando que la transición tecnológica se efectúe bajo un ordenamiento lógico y científicamente defendible.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Implementar un modelo sostenible para el mantenimiento de cultivos mediante el uso de guadañas eléctricas en Palmas Del Cesar S.A., orientado a la reducción del impacto ambiental y la optimización operativa.

5.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar el sistema actual de mantenimiento de cultivos en la empresa, identificando condiciones de operación, niveles de ruido reportados institucionalmente, requerimientos mecánicos, consumo de combustible y riesgos ocupacionales asociados al uso de guadañas de gasolina.
2. Comparar tres alternativas de guadañas eléctricas de uso profesional frente al sistema de combustión, con base en variables de potencia, autonomía, nivel acústico documentado, mantenimiento, emisiones directas y pertinencia para trabajo en vegetación densa y clima tropical.
3. Diseñar una propuesta de implementación gradual para una fase piloto en Palmas del Cesar S.A., que incluya protocolo operativo detallado, presupuesto estimado, esquema de capacitación, formato de seguimiento y criterios de evaluación de resultados.

6. MARCO TEÓRICO

La base teórica de la presente investigación establece que la sostenibilidad agrícola ha trascendido el concepto de mero incremento de la productividad, para situarse ahora como la capacidad de producir bajo una menor presión climática, con una reducida dependencia de insumos contaminantes y mediante la garantía de mejores condiciones laborales. De acuerdo con los señalamientos de la FAO (2024), los sistemas agroalimentarios persisten como una fuente de gran relevancia en la emisión de gases de efecto invernadero a escala global, la reducción de dichas emisiones dentro de las operaciones de campo debe asumirse como una prioridad técnica y no solo discursiva.

6.1 Sustitución de equipos de combustión

Bajo esta lógica, la sustitución de equipos de combustión por tecnologías eléctricas en las labores de mantenimiento se interpreta como una estrategia de descarbonización operativa, especialmente cuando se trata de actividades repetitivas y permanentes, tales como el control de malezas en los cultivos de palma aceitera. En segundo lugar, la teoría relativa a la electrificación de la maquinaria agrícola sostiene que la incorporación de accionamientos eléctricos no solo responde hacia una tendencia tecnológica, sino a una transformación funcional del sistema productivo.

Scolaro et al. (2021) identifican que dicha electrificación ofrece ventajas asociadas al ahorro de combustible, la reducción de emisiones y nuevas posibilidades de eficiencia operativa, lo cual permite replantear la relación existente entre energía, mantenimiento y rendimiento en el campo, bajo ese enfoque, las guadañas eléctricas no deban ser percibidas únicamente como una herramienta distinta, sino como parte de una transición hacia operaciones agrícolas de menor impacto y mayor control técnico, en vista de que esta

perspectiva resulta especialmente útil en el presente trabajo al fundamentar que la innovación propuesta no es un hecho aislado, sino coherente con una línea más amplia de modernización agrícola sostenible.

6.2 Salud ocupacional y ergonomía en el trabajo agrícola

Un tercer eje teórico se fundamenta en la salud ocupacional y la ergonomía aplicada a las labores del agro, toda vez que la documentación científica advierte que el ruido de origen ambiental y laboral genera repercusiones auditivas y extraauditivas en el organismo, de forma más aguda cuando la permanencia frente al estímulo es constante a través del tiempo (Basner et al., 2014).

En relación con lo anterior, diversas investigaciones recientes centradas en el manejo de implementos manuales dentro de entornos rurales y silvícolas subrayan que la interacción entre la presión sonora, las vibraciones mecánicas, las tareas repetitivas y las posiciones corporales exigentes eleva considerablemente la probabilidad de padecer agotamiento físico y afecciones de tipo musculoesquelético entre los trabajadores (Cordeiro et al., 2021; Poje et al., 2024).

Bajo esta óptica, el examen detallado de las guadañas accionadas por energía eléctrica no debe limitarse exclusivamente a la medición de vertidos contaminantes o al ahorro financiero, sino que debe contemplar su capacidad para atenuar el esfuerzo físico, elevar el bienestar del operario y suprimir la exposición concurrente a vapores de combustión, movimientos vibratorios y altos decibeles. Por consiguiente, la valoración desde la ergonomía y la higiene industrial se constituye como un parámetro esencial para determinar la utilidad de la transformación tecnológica, de modo que la transición no sea vista solamente como una mejora técnica, sino como una estrategia integral

para la preservación de la integridad física de quienes ejecutan el mantenimiento de los cultivos.

6.3 Sostenibilidad el sector palmero

Otro componente teórico fundamental se halla en la sostenibilidad del sector palmero, los Principios y Criterios de la RSPO (2024) establecen requisitos de producción sostenible para los productores de palma de aceite, lo cual confirma que la sostenibilidad del sector no se limita a la plantación o al procesamiento industrial, sino que atraviesa toda la cadena de valor.

En el caso colombiano, Ramírez-Contreras et al. (2020) demostraron que existen escenarios de mejora tecnológica y energética capaces de reducir de forma importante las emisiones del sector, factor que refuerza la idea de que la sostenibilidad empresarial depende de intervenir puntos concretos de la operación, el mantenimiento de cultivos mediante equipos de menor impacto puede entenderse como una pieza coherente dentro de un modelo palmero más eficiente, competitivo y alineado con los estándares internacionales de producción responsable.

6.4 Agricultura 4.0

La investigación encuentra su fundamento en los postulados de la Agricultura 4.0, la cual se define como la convergencia de herramientas tecnológicas orientadas a incrementar la eficiencia, la trazabilidad y la sostenibilidad en el interior de los esquemas de producción, de tal suerte que autores como Gyamfi et al. (2024) describen la actividad agrícola inteligente como un proceso de transformación que se apoya en soluciones técnicas para perfeccionar tanto la ejecución de las tareas como la administración de los recursos disponibles. Conforme a esta visión, Rahimi Azghadi et al. (2024) exponen que la tecnificación minuciosa de las labores de supervisión y control

permite mitigar los daños al entorno sin que ello implique una pérdida en la efectividad de la operación, por lo cual, a pesar de que la iniciativa actual no incluya elementos de robótica avanzada o sistemas de visión artificial, sí se identifica plenamente con el propósito de reemplazar las costumbres productivas tradicionales por opciones de menor impacto ecológico y una estructura de trabajo mucho más racional.

En relación con lo anterior, el empleo de guadañas impulsadas por energía eléctrica se puede entender como una modalidad de innovación aplicada que resulta accesible para el mantenimiento de los cultivos en entornos tropicales, puesto que permite una transición hacia modelos de gestión más modernos y coherentes con las demandas globales de sostenibilidad, de ahí que la propuesta no se limite a un simple cambio de maquinaria, sino que represente un avance hacia la digitalización y el monitoreo de indicadores de desempeño energético en el campo. De este modo, la incorporación de estas tecnologías en Palmas del Cesar S.A. actúa como un puente entre las prácticas convencionales y los estándares de la agricultura de precisión, asegurando que la empresa se mantenga competitiva y alineada con las tendencias de modernización del sector palmicultor a nivel internacional.

7. MARCO LEGAL

El fundamento jurídico de la presente propuesta halla su origen primordial en la Constitución Política de Colombia, en ella se reconoce el derecho de todas las personas a disfrutar de un ambiente sano, el Estado asume la responsabilidad de proteger la diversidad e integridad del entorno natural, la obligación de planificar el manejo y el aprovechamiento de los recursos para asegurar un desarrollo sostenible, esta base constitucional resulte altamente relevante para el proyecto.

La sustitución de guadañas de combustión por equipos eléctricos se vincula de forma directa con la mitigación de emisiones contaminantes, la reducción de los niveles de ruido y la implementación de prácticas operativas más limpias en el sector agrícola, de acuerdo con lo señalado, la Ley 99 de 1993 fortaleció esta estructura al reorganizar la gestión ambiental y crear el Ministerio del Medio Ambiente, el Decreto 1076 de 2015 consolidó la regulación sectorial bajo la dirección del Sistema Nacional Ambiental, mediante el cual se reafirma la autoridad del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en la materia.

Con respecto al ámbito de la acción climática, la iniciativa encuentra un sustento adicional en la Ley 1844 de 2017, a través de la cual la nación aprobó el Acuerdo de París, como también en la Ley 1931 de 2018, la cual definió las directrices para la gestión del cambio climático. Por esto, tales disposiciones normativas adquieren una pertinencia fundamental al transformar la reducción de gases de efecto invernadero y la adaptación climática en compromisos de carácter institucional que los sectores productivos deben integrar en sus procesos, una propuesta orientada a disminuir la huella de carbono en las labores de mantenimiento no se percibe como una acción aislada, sino como una ejecución congruente con la política pública colombiana, por ende, la intención de reemplazar tecnologías de combustión por alternativas de menor

impacto ambiental se alinea con las metas nacionales de transición hacia modelos de producción que sean más sostenibles en el tiempo, lo cual otorga una solidez jurídica superior al proyecto en función de las obligaciones internacionales asumidas por el Estado.

En relación con el componente energético, el proyecto recibe un respaldo específico por parte de la Ley 1715 de 2014, mediante la cual se estableció el marco legal para promover el aprovechamiento de fuentes no convencionales de energía y la eficiencia energética, a lo cual se suma la Ley 2099 de 2021, que modernizó la legislación con el fin de fortalecer la transición energética y el uso de fuentes renovables.

Estas normas resultan determinantes porque la propuesta no se limita exclusivamente al cambio de una herramienta de trabajo, sino que pretende articular el uso de equipos eléctricos con una lógica de optimización del consumo energético dentro de la organización, desde un punto de vista estrictamente normativo, la electrificación de las labores de mantenimiento agrícola cuenta con un soporte legal suficiente y robusto dentro de la política de energías limpias que promueve el país, se ajusta a los incentivos y mandatos de modernización tecnológica vigentes.

Desde la perspectiva del derecho laboral, la propuesta debe ser analizada conforme a la Ley 1562 de 2012, la cual introdujo modificaciones al Sistema de Riesgos Laborales, en con el Decreto 1072 de 2015, que sirve como eje central para la implementación del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo, a este marco se añade la Resolución 0312 de 2019, en la cual se fijan los estándares mínimos de seguridad para los empleadores, y la Ley 9 de 1979, que estableció los programas de salud ocupacional destinados a la prevención de accidentes.

8. ESTADO DEL ARTE

El estado del arte se fundamenta en la revisión de antecedentes a nivel internacional, nacional y local sobre la electrificación de maquinaria agrícola, la sostenibilidad del sector palmicultor y sus implicaciones técnicas, ambientales y ocupacionales. A nivel internacional, estudios de Scolaro et al. (2021), Gao et al. (2024) y Poje et al. (2024) analizan los impactos técnicos, ambientales y ergonómicos del uso de equipos eléctricos en el agro. En el ámbito nacional, Ramírez Contreras et al. (2020), Fedepalma (2024) y la UPRA (2023) aportan información sobre la sostenibilidad, emisiones y condiciones productivas del sector en Colombia. Asimismo, en el contexto local, los informes de sostenibilidad de Palmas del Cesar S.A. (2024) y el Esquema de Ordenamiento Territorial de San Martín (2020) permiten comprender las condiciones reales de operación. En conjuntos estos aportes sustentan viabilidad y pertinencia de la propuesta.

8.1 Ámbito internacional

A través del estudio elaborado por Scolaro et al. (2021) en torno a la electrificación sobre los implementos agrícolas, el objetivo fundamental radicó en analizar el respectivo avance de la maquinaria eléctrica durante las labores del campo, en conjunto con sus múltiples efectos frente a la eficiencia, la sostenibilidad y el desempeño de orden operativo, de tal manera que los autores trabajaron con una metodología cualitativa a partir de una revisión técnica de la literatura, configurando con esto una investigación documental provista de un alcance puramente analítico.

Por lo cual, procedieron a examinar diversos equipos agrícolas electrificados, a la par de los sistemas de potencia y los requerimientos de carga, estableciendo dichas bases para valorar la transición tecnológica, de ahí que, entre los principales resultados, el trabajo logró demostrar que la

electrificación reduce directamente las emisiones, simplificando la mecánica y abriendo amplias posibilidades de cara a una mayor eficiencia energética, no obstante, también procedió a señalar claras limitaciones estrechamente asociadas frente a la autonomía, la infraestructura de recarga y la necesaria adaptación a jornadas reales de trabajo, por consiguiente, este antecedente aporta un innegable valor al presente proyecto, debido a que demuestra fehacientemente que la correspondiente evaluación de una guadaña eléctrica carece de la viabilidad de centrarse exclusivamente sobre la potencia del motor, exigiendo considerar aquella logística encargada de garantizar una absoluta continuidad y un adecuado rendimiento a lo largo del terreno.

De manera complementaria, Gao et al. (2024) formularon un estudio de caso en China, enfocado en la reducción de diversos contaminantes atmosféricos derivados del reemplazo de la maquinaria de combustión por equipos eléctricos, de modo que su objetivo fue estimar el respectivo beneficio ambiental de dicha transición energética mediante distintos escenarios comparativos y proyecciones de huella de carbono, por lo cual, los sistemas analizados correspondieron a equipos agrícolas motorizados, con gran énfasis sobre el comportamiento de las emisiones y las exigencias energéticas.

La metodología utilizada fue cuantitativa, por lo que se realizó un análisis conglomerado de las emisiones de carbono en las maquinarias agrícolas en China entre los años 2000 y 2020, junto a métodos de aprendizaje automático y el modelo de difusión de Bass, para medir cuantitativamente la reducción de carbono. Entre los resultados, se evidenciaron diferencias en las emisiones calculadas para cada provincia de China, y con ello se concluyó que la implementación de políticas fomenta la electrificación de máquinas agrícolas, generando mayores reducciones en emisiones de carbono. Esta argumentación, sirve como antecedente para el desarrollo de estudios posteriores, y para la formulación de políticas relacionadas a la gestión de

activos en China, teniendo en cuenta la implementación de equipos agrícolas motorizados.

Por su parte, Poje et al. (2024) investigaron el comportamiento de las desbrozadoras a batería frente a los equipos de gasolina bajo ciertas condiciones reales en tres zonas forestales de Eslovenia, teniendo como objetivo comparar la productividad, la carga física y la respectiva presión sonora, mediante una metodología de campo rigurosa. El enfoque de investigación fue cuantitativo con un diseño experimental comparativo entre las motosierras de gasolina y las motosierras eléctricas con batería, en la que se tuvo en cuenta variables como la eficiencia, la carga física, la exposición al ruido y la composición del tiempo de trabajo. De tal manera que, los resultados indicaron que dichos equipos mantuvieron niveles funcionales, sin embargo, las desbrozadoras a batería mostraron reducir en mayor medida el impacto acústico y la constante fatiga psicofísica, hallazgo altamente relevante porque conecta exitosamente el criterio técnico y el ámbito ocupacional de forma directa.

8.2 Ámbito nacional

Dentro del contexto nacional, Ramírez Contreras et al. (2020) desarrollaron un estudio orientado a cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero, procurando valorar el rendimiento financiero de la cadena del aceite de palma en Colombia, por lo cual, el objetivo radicó en identificar puntos de mejora tecnológica o energética en el sector, mediante una metodología cuantitativa, a partir de una evaluación integral de impactos y costos, en tanto que los autores analizaron la operación palmera en su conjunto para establecer cómo las decisiones técnicas inciden en la competitividad y la respectiva sostenibilidad.

Los resultados arrojaron que la optimización tecnológica logra disminuir de manera importante la huella de carbono del sector, logrando fortalecer el desempeño económico de las organizaciones, de ahí que este antecedente resulte clave para el presente proyecto, a causa de que respalda la idea sobre intervenir las labores de mantenimiento como parte de una estrategia real de mitigación en la palmicultura colombiana.

Por otra parte, Fedepalma (2024), mediante su informe sectorial de sostenibilidad, recopiló indicadores sobre trazabilidad, desempeño ambiental y prácticas productivas del cultivo de palma en el país, tratándose de un documento de carácter descriptivo con metodología cualitativa, construido con reportes y sistemas de consolidación de datos del sector, de modo que, si bien carece de evaluar directamente las guadañas, sí examina procesos productivos o de gestión para ubicar la modernización del mantenimiento dentro de una tendencia nacional de producción completamente responsable.

Conforme a esto, la UPRA (2023) elaboró un análisis sobre las condiciones productivas del departamento del Cesar, con el propósito de orientar la planificación rural junto a la evaluación agropecuaria, en tanto que la metodología se apoyó en un enfoque cuantitativo y descriptivo, con información cartográfica, bases estadísticas oficiales y análisis de aptitud del suelo, sin centrarse en un equipo puntual, sino en el contexto donde se desarrolla la actividad agrícola, por lo cual, los hallazgos ubican al Cesar como territorio estratégico para cultivos permanentes, reforzando la necesidad de adoptar decisiones tecnológicas coherentes con la productividad y la sostenibilidad regional.

A razón de esto, los antecedentes nacionales logran afirmar que la sostenibilidad del sector palmero prescinde de depender únicamente del procesamiento industrial, sino de la eficiencia operativa en campo, de ahí que la evaluación de guadañas eléctricas en Palmas del Cesar S.A. se inserte en

una discusión vigente sobre tecnificación, competitividad y reducción de impactos dentro del contexto colombiano.

8.3 Ámbito local

A nivel institucional y local, el Informe de sostenibilidad y gestión ambiental de Palmas del Cesar S.A. (Cesar, 2024) constituye un antecedente directo para esta investigación, puesto que el documento tuvo como objetivo registrar el desempeño ambiental de la empresa, a fin de orientar sus acciones de mejora, mediante una metodología cualitativa y descriptiva, teniendo en cuenta el reporte institucional en convergencia con la consolidación de indicadores internos, de tal manera que, aunque no estudia un equipo aislado, sí revisa diversos procesos operativos, a la par de consumos y compromisos ambientales que sirven como línea base para valorar la propuesta de electrificación.

Entre sus principales aportes, el informe evidencia que la sostenibilidad corporativa exige intervenir procedimientos concretos del trabajo de campo, sin limitarse a formular declaraciones generales, por lo cual, dicho antecedente resulta fundamental de cara al presente proyecto, ya que permite vincular la sustitución de guadañas hacia una necesidad reconocida dentro de la gestión corporativa.

Asimismo, la política de sostenibilidad de Palmas del Cesar S.A., se revisa bajo la figura de referente local debido a que define los lineamientos con los que la organización busca articular la producción, junto con el desempeño y la protección del entorno, de modo que su naturaleza resulta normativa e institucional, sustentada en metas de gestión, principios de mejora continua y estrictos criterios de responsabilidad empresarial, por consiguiente, en este caso tampoco se evalúa una máquina específica, pero sí se establecen firmes

condiciones estratégicas para justificar la búsqueda de alternativas tecnológicas más limpias.

El principal resultado de este referente establece que las obligaciones ambientales deben traducirse mediante decisiones operativas verificables dentro del cultivo, en consecuencia, la migración hacia guadañas eléctricas no aparece a modo de idea externa al funcionamiento operativo, sino como una posibilidad coherente frente a su orientación corporativa y sus metas de sostenibilidad.

El Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de San Martín (2020) aporta el contexto físico y ambiental donde se ubica la plantación, a razón de que su objetivo fue describir las características geográficas, climáticas y de vocación del suelo del municipio, mediante una metodología cualitativa y un diagnóstico territorial de carácter descriptivo, de ahí que, aunque no trabajó con equipos agrícolas, sí aporta variables del entorno como humedad, lluvias y condiciones térmicas que inciden en la validación de cualquier tecnología de mantenimiento.

Los resultados del documento muestran que el sur del Cesar presenta condiciones ambientales que deben ser consideradas antes de implementar una alternativa eléctrica de manera definitiva, puesto que este antecedente explica la razón por la cual la propuesta requiere una validación gradual y adaptada a las particularidades del terreno.

9. METODOLOGÍA

La metodología constituye un componente de naturaleza fundamental dentro de cualquier proyecto de investigación, debido a que en ella se define el conjunto de procedimientos, técnicas y criterios que permiten desarrollar el estudio de una manera sistemática, organizada y plenamente verificable, de acuerdo con lo señalado, su importancia radica en que orienta el proceso mediante el cual se recopila, analiza e interpreta la información necesaria para dar respuesta al problema planteado (Palmas del Cesar, 2024).

Por esto, un adecuado marco metodológico permite establecer la forma en que se evaluarán las variables del estudio, los instrumentos que se utilizarán para la recolección de los datos y el tipo de análisis que permitirá obtener conclusiones válidas y confiables para la organización, en ese sentido, en los proyectos relacionados con la innovación tecnológica y la sostenibilidad en el sector agrícola, tales como el análisis de la implementación de guadañas eléctricas en cultivos de palma aceitera, la metodología resulta clave a fin de comparar el desempeño técnico, económico y ambiental de las tecnologías que se encuentran disponibles actualmente, permitiendo además identificar su impacto en las condiciones de trabajo y en la eficiencia operativa de la empresa (EGO Power Plus, 2025).

El marco metodológico estructurará el proceso investigativo a través de la definición del tipo de estudio, las fuentes de información y los métodos de recolección que harán posible evaluar la factibilidad de incorporar esta tecnología en las labores de mantenimiento. Por consiguiente, este capítulo se vincula de forma directa con la necesidad de adoptar prácticas agrícolas más sostenibles, se orienta a determinar la viabilidad integral de integrar equipos eléctricos en las operaciones de Palmas del Cesar S.A., las metas institucionales de modernización y cumplimiento normativo.

9.1 Enfoque de la investigación

La presente investigación se estructuró bajo un modelo de carácter mixto, que según Hernández Sampieri (2018) se relaciona con una articulación de elementos de orden cuantitativo y cualitativo, con el fin de examinar la viabilidad de la transición tecnológica sin pretender la validación de una aplicación ya consumada, por lo cual, desde la vertiente cuantitativa, el análisis se nutrió de la información suministrada por la organización, las fichas técnicas de los equipos, los presupuestos proyectados, los registros sonoros preexistentes y las estimaciones sobre la reducción de contaminantes atmosféricos.

Por otra parte, desde la perspectiva cualitativa, se procedió a la interpretación de las dinámicas en la operación, las demandas específicas del entorno de la palmicultura, los estándares ergonómicos y los requisitos de orden institucional necesarios para estructurar una futura etapa de pilotaje, de tal manera que el estudio adquiere una profundidad que trasciende el simple dato numérico.

En relación con lo anterior, la adopción de este enfoque se encuentra plenamente justificada puesto que el interrogante de investigación no se limita a la comparación de magnitudes físicas, sino que abarca procesos de acomodación técnica, reestructuración de las jornadas laborales y pertinencia dentro de la gestión corporativa, es por esto que el trabajo no se diseñó como un ejercicio de experimentación con medición directa en el terreno, sino como una valoración de factibilidad que encuentra su rigor en la triangulación de evidencias provenientes de fuentes administrativas, bibliográficas y tecnológicas.

De este modo, la metodología empleada garantiza una visión integral del fenómeno, permitiendo que la propuesta de sustitución de guadañas se

fundamente en una base argumentativa sólida que sopesa tanto la eficiencia financiera como el bienestar humano y la responsabilidad ecológica de la empresa.

9.2 Alcance de la investigación

De acuerdo a Hernández Sampieri (2018), el estudio se estructuró bajo un alcance de carácter descriptivo, comparativo y propositivo, toda vez que se orientó, en primera instancia, a caracterizar el modelo vigente de mantenimiento, resumiendo el comportamiento de factores críticos tales como el impacto sonoro, el consumo de hidrocarburos y las demandas de reparación mecánica. Por otro lado, la investigación adquiere una dimensión comparativa al confrontar las prácticas actuales con diversas opciones eléctricas de gama profesional, mientras que su naturaleza propositiva se manifiesta en el diseño de una trayectoria de implementación paulatina, concebida específicamente para una etapa de pilotaje en el interior de la organización, de modo que el trabajo logra integrar el diagnóstico con la formulación de soluciones técnicas.

En relación con lo anterior, es preciso señalar que las variables examinadas no se originan en una jornada de experimentación integral llevada a cabo por el autor, sino que se derivan de la recopilación de datos corporativos, guías de fabricantes, literatura académica y proyecciones operativas de alta coherencia, por lo cual, el propósito del análisis reside en fundamentar la viabilidad de la propuesta mediante argumentos técnicos sólidos, sin pretender la certificación del rendimiento final en la totalidad de las parcelas que conforman la plantación.

Es por esto que el componente de contraste facilitó la identificación de brechas en aspectos como la potencia efectiva, la duración de las baterías, los decibelios reportados y los vertidos de gases de efecto invernadero entre

ambos sistemas, permitiendo que tales hallazgos se organizaran en un plan de transición que responda a las particularidades de Palmas del Cesar S.A.

Conforme a lo expuesto, este alcance guarda una estrecha armonía con el interrogante central y con las metas reestructuradas del proyecto, puesto que el mérito de la investigación no radica en la simulación de una ejecución que no ha tenido lugar, sino en el suministro de parámetros técnicos y administrativos que faculten a la empresa para determinar la pertinencia de avanzar hacia una validación controlada en el terreno. Por consiguiente, el documento actúa como un insumo estratégico para la toma de decisiones, garantizando que el paso de la tecnología de combustión a la eléctrica se realice bajo un esquema de planificación que minimice los riesgos operativos y maximice los beneficios en materia de sostenibilidad y salud en el trabajo.

9.3 Diseño de investigación

El diseño de la presente investigación adoptó un carácter no experimental, documental, comparativo y de corte transversal, debido a que según Hernández Sampieri (2018), no se llevó a cabo la manipulación deliberada de ninguna variable en el terreno, de modo que la evidencia fundamental se obtuvo a partir de informes institucionales, literatura científica, guías técnicas y catálogos comerciales. En este sentido, el estudio se define como comparativo toda vez que se contrastaron los sistemas de combustión y los de energía eléctrica bajo un marco común de parámetros, mientras que su naturaleza transversal radica en que el análisis de la información se efectuó estrictamente dentro del periodo de ejecución del proyecto, sin realizar un seguimiento longitudinal de una puesta en marcha real.

En relación con lo anterior, tal estructura metodológica facilita la comprensión del fenómeno de manera coherente con el trabajo efectivamente desarrollado, puesto que la factibilidad de introducir guadañas eléctricas se

estima con base en la solidez de la evidencia recolectada y la rigurosidad del contraste analítico. Por consiguiente, la validación empírica en condiciones de campo se establece como una etapa subsiguiente, la cual deberá concretarse mediante una fase piloto controlada que permita verificar los supuestos técnicos y operativos aquí planteados, asegurando así que el paso hacia la tecnología sostenible cuente con una base documental previa de alta calidad.

9.3.1 Área de estudio

El estudio se desarrollará en la plantación de Palmas del Cesar S.A., ubicada en el corregimiento de Minas, jurisdicción del municipio de San Martín, departamento del Cesar. Esta zona presenta condiciones agrícolas y logísticas representativas del contexto palmicultor en el cual se ejecutan las labores de deshierbe y mantenimiento evaluadas en la presente investigación.

Figura 2. *Área de estudio*



Fuente: Google Maps (2025)

9.3.2 Ubicación geográfica

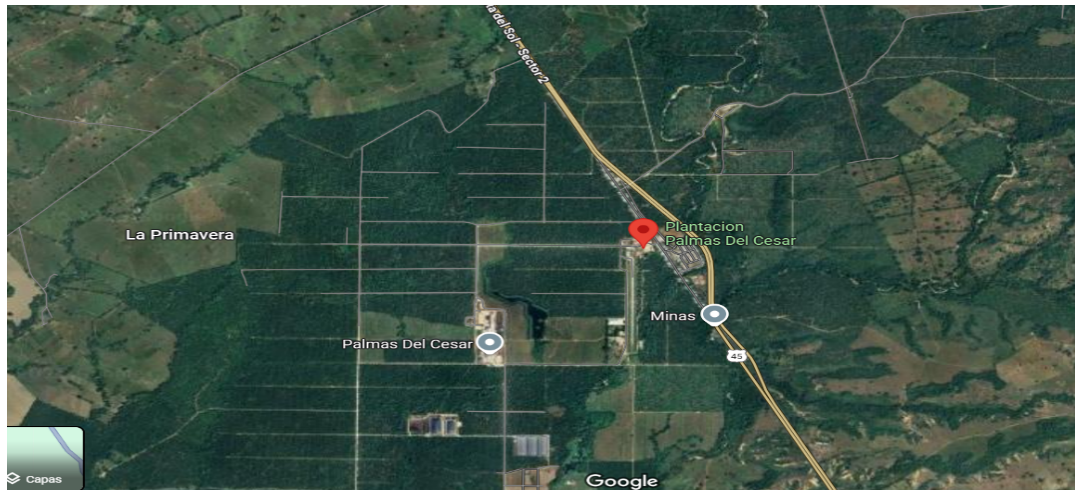
La plantación objeto de estudio se localiza en el km 113 de la Vía al Mar, en el corregimiento de Minas, municipio de San Martín Sur del Cesar, mientras que la sede administrativa de la empresa se encuentra en Bucaramanga, Santander. Desde el punto de vista territorial, el municipio de San Martín se ubica en el sur del departamento del Cesar y posee una localización estratégica para las actividades agroindustriales, condición que favorece la articulación entre producción agrícola, sostenibilidad y evaluación tecnológica.

Figura 3. Mapa de ubicación geográfica del municipio de San Martín, Cesar.



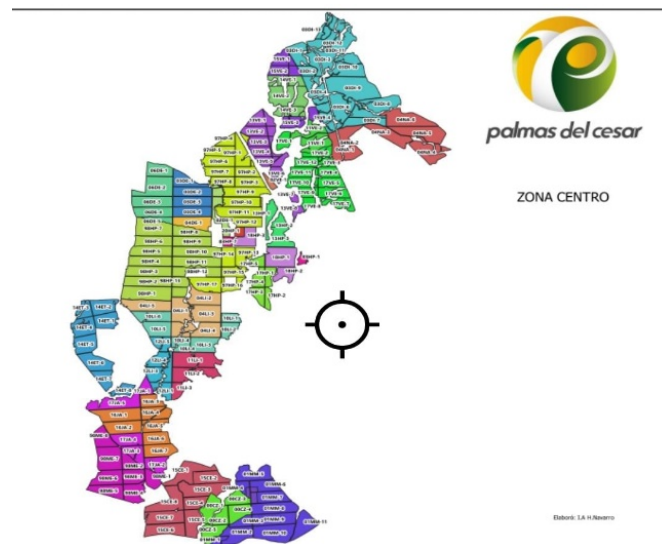
Nota. Tomado de Google Maps (2024)

Figura 4. Mapa de ubicación geográfica de la plantación.



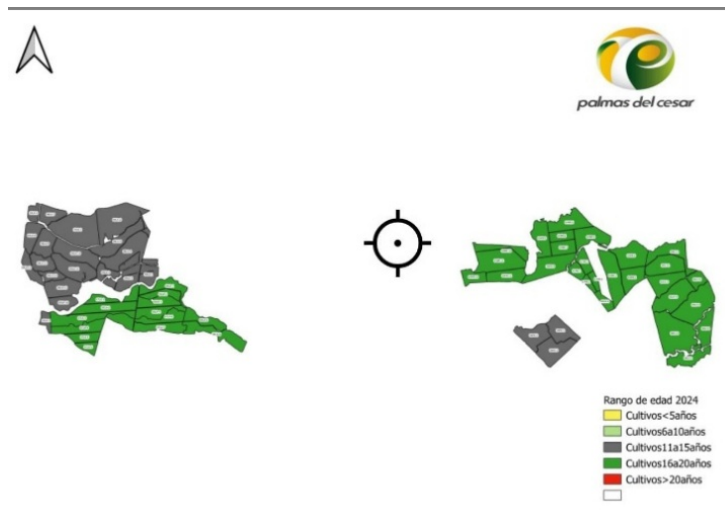
Nota. Tomado de Google Maps (2024)

Figura 5. *Mapa de ubicación de la zona centro de Palmas del Cesar S.A.*



Nota. Palmas del Cesar S.A. (2024). Mapa de distribución territorial de la zona centro. Departamento Técnico – Área de Planeación.

Figura 6. *Mapa de distribución de cultivos de palma según rango de edad en Palmas del Cesar S.A., año 2024.*



Fuente: Palmas del Cesar S.A. (2024). *Mapa de rangos de edad de cultivos de palma africana*. Departamento Técnico – Área de Planeación.

9.3.3 Factores climáticos

Los factores de orden climático propios de la zona de estudio repercuten de manera directa en el rendimiento que se prevé para las guadañas eléctricas, afectando de forma específica variables tales como la autonomía de las baterías, la periodicidad de los ciclos de carga, la fluidez de las labores en el terreno y la durabilidad de los componentes frente a la presencia de humedad y las fluctuaciones térmicas.

En vista de esto, a pesar de que la presente investigación no llevó a cabo una fase de medición experimental bajo condiciones de clima controlado, sí se integraron las circunstancias ambientales particulares del municipio de San Martín como una variable de contexto obligatoria para determinar la viabilidad de un posible periodo de pilotaje, fundamentando este análisis en la información suministrada por el Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de San Martín (2020).

En relación con lo anterior, la comprensión del entorno geográfico resulta fundamental toda vez que la saturación de humedad y la densidad de la vegetación en el sur del Cesar imponen exigencias mecánicas y energéticas superiores a las que se podrían observar en otros escenarios, de modo que la factibilidad técnica no puede desligarse de la realidad climática del área de operación de Palmas del Cesar S.A. Por consiguiente, el estudio reconoce que la transición hacia tecnologías de energía limpia debe estar precedida por una evaluación que pondere cómo estas variables externas influyen en la eficiencia del motor eléctrico y en la logística de intercambio de acumuladores.

9.3.3.1 Temperatura

El comportamiento térmico en la zona de influencia de la investigación exhibe fluctuaciones de carácter moderado a lo largo del periodo anual, registrando magnitudes que oscilan aproximadamente entre los 27,2 °C y los 28,6 °C, por lo cual estas condiciones climáticas adquieren una relevancia sustancial al momento de proyectar la operatividad de los equipos, puesto que poseen la capacidad de incidir en la estabilidad química de las baterías, en la eficiencia térmica del motor de inducción eléctrica y en la fatiga acumulada del personal encargado de las labores de campo.

En relación con lo anterior, estos valores de temperatura se integran como un parámetro de análisis fundamental dentro del contexto geográfico del estudio, actuando como una variable crítica que la organización deberá monitorear de forma sistemática durante la ejecución de una validación práctica en el terreno, toda vez que el desempeño de las tecnologías de almacenamiento de energía puede verse condicionado por el calor ambiental persistente en el sur del Cesar, de ahí que la factibilidad de la propuesta se sustente en el reconocimiento de estas particularidades del entorno para asegurar una transición tecnológica que sea robusta y adaptada a las realidades climáticas de la plantación.

9.3.3.2 Humedad relativa

El registro de la humedad relativa media en la zona de influencia de la investigación se sitúa en valores próximos al 82 %, presentando variaciones estacionales de gran relevancia que deben ser ponderadas con rigurosidad durante la valoración de la maquinaria electrificada, puesto que los altos niveles de saturación hídrica en el aire poseen la capacidad de alterar la manipulación ergonómica de los implementos, comprometer los estándares de seguridad industrial y condicionar la integridad de los circuitos internos bajo regímenes de funcionamiento ininterrumpido.

En relación con lo expuesto, la inclusión de este factor climático dentro de la estructura metodológica del estudio facilita la formulación de un dictamen de viabilidad mucho más coherente con la realidad de los entornos tropicales donde se desarrolla el cultivo de palma de aceite, toda vez que el desempeño de los componentes electrónicos y la comodidad del trabajador se ven directamente impactados por la atmósfera del sur del Cesar, de ahí que cualquier propuesta de modernización tecnológica deba considerar la humedad como una variable determinante para asegurar la durabilidad de los equipos y la efectividad de las tareas de mantenimiento.

9.4 Población y muestra

El universo poblacional definido para el análisis se encontró integrado por el esquema vigente de sostenimiento de plantaciones mediante el uso de guadañas accionadas por gasolina en la organización Palmas del Cesar S.A., sumado a la totalidad de la documentación corporativa existente sobre las particularidades de su operación y al conjunto de opciones tecnológicas eléctricas de nivel profesional que resultan aptas para las tareas de control de arvenses en el sector palmicultor. De este modo, tal delimitación guarda una estrecha armonía con el objeto de estudio, toda vez que la investigación

persigue la tasación de una transición paulatina fundamentada en evidencias de carácter técnico, en lugar de pretender el examen de una ejecución integral previamente consumada.

Con respecto al proceso de muestreo, este se determinó de manera intencional y quedó conformado por los registros institucionales de mayor relevancia para el diagnóstico de la situación actual, tres modelos comerciales de guadañas eléctricas diseñadas para labores de alta exigencia y las especificaciones de los equipos de combustión empleados para el contraste técnico, sonoro, ecológico y financiero. En relación con lo anterior, se incorporaron también fuentes científicas y marcos normativos que facilitaran la comprensión sobre la conveniencia de la transformación tecnológica, asegurando que la muestra seleccionada permitiera una visión profunda y fundamentada de las alternativas disponibles en el mercado frente a las necesidades reales de la compañía.

Por su parte, las unidades de análisis se centraron en cada una de las variables sometidas a comparación, abarcando factores como los niveles de ruido documentados, la generación de emisiones directas, las rutinas de mantenimiento preventivo, la autonomía certificada por los fabricantes, la simplicidad de la mecánica interna, las proyecciones de costos y las exigencias de orden logístico, por lo cual el estudio consiguió estructurar una interpretación fidedigna de la viabilidad para el caso particular de la empresa. En consecuencia, este enfoque metodológico garantiza que los resultados obtenidos constituyan una base sólida para la toma de decisiones estratégicas, alejándose de ser una simple inferencia estadística de carácter general para convertirse en un diagnóstico preciso y contextualizado a la realidad operativa del sur del Cesar.

9.5 Hipótesis

En vista de que la investigación no contempló el desarrollo de una intervención experimental de carácter integral, los planteamientos hipotéticos se asumen como hipótesis de trabajo orientadas a una futura etapa de pilotaje y no como premisas verificadas a través de métodos de muestreo inferencial, de tal manera que su propósito fundamental reside en guiar la lectura analítica de los hallazgos obtenidos y esclarecer cuál sería la tendencia del desempeño institucional en el supuesto de que la organización decida progresar hacia una validación en la práctica operativa.

Bajo esta perspectiva, la formulación de dichas conjeturas cumple una función metodológica esencial, toda vez que permite establecer un horizonte de expectativas sobre el comportamiento de variables críticas como la eficiencia energética, la reducción de la huella de carbono y la mejora en las condiciones de salud ocupacional, por lo cual estas suposiciones actúan como el marco de referencia técnico que la empresa deberá contrastar cuando ejecute las pruebas en campo. Por consiguiente, el valor de estas hipótesis de trabajo radica en su capacidad para otorgar coherencia al diseño propositivo del estudio, asegurando que la transición tecnológica se planifique sobre una base lógica y estructurada que facilite la toma de decisiones basada en la comparación entre los resultados esperados y los datos que se logren recolectar en el contexto real de la plantación.

9.5.1 Hipótesis alternativa (H_1)

En el supuesto de que las proyecciones fundamentadas en el análisis documental y los registros de carácter institucional logren verificarse durante la ejecución de una etapa de pilotaje, el reemplazo progresivo de las guadañas accionadas por combustión interna por dispositivos de tecnología eléctrica conseguirá atenuar las emisiones directas de dióxido de carbono, mitigar la

exposición sonora de los operarios en sus puestos de labor y optimizar el rendimiento de las tareas de sostenimiento en la entidad Palmas del Cesar S.A., por lo cual se establece una relación de causalidad entre la modernización del equipo y el fortalecimiento de los indicadores de sostenibilidad corporativa.

En relación con lo anterior, esta hipótesis de trabajo se sustenta en la premisa de que la transición hacia fuentes de energía más limpias no solo responde a una necesidad de orden ecológico, sino que actúa como un catalizador para la mejora de la salud ocupacional, puesto que la reducción de los niveles de ruido y la supresión de los vapores de escape contribuyen de manera significativa al bienestar del personal del campo. Por consiguiente, el cumplimiento de estas proyecciones permitiría a la organización consolidar una operativa mucho más eficiente y coherente con las exigencias del mercado global, garantizando que el mantenimiento de los cultivos de palma se desarrolle bajo estándares de alta responsabilidad ambiental y seguridad industrial, de tal suerte que la validación práctica se convierta en el soporte definitivo para la toma de decisiones estratégicas en la compañía.

9.5.2 Hipótesis nula (H_0)

En el escenario donde las estimaciones de carácter documental no alcancen su validación durante el desarrollo de una etapa de pilotaje, el proceso de reemplazo de las guadañas impulsadas por gasolina por alternativas de tecnología eléctrica no logrará generar avances significativos en materia de reducción de emisiones directas, mitigación del impacto sonoro ocupacional ni optimización del rendimiento en las labores de campo, toda vez que factores limitantes relacionados con la autonomía de las baterías, las dificultades en la logística de abastecimiento energético o la falta de acoplamiento técnico a las exigencias particulares de la palmicultura podrían neutralizar los beneficios proyectados inicialmente.

De acuerdo con este planteamiento, la factibilidad de la transformación tecnológica se encuentra condicionada por la capacidad de los equipos para responder con eficacia ante las jornadas extensas y las condiciones de humedad y vegetación densa del sur del Cesar, por lo cual, si la infraestructura de carga resulta insuficiente o si el desgaste de los acumuladores es superior al previsto por los fabricantes, la transición podría considerarse inviable bajo los parámetros actuales de operación.

Por consiguiente, esta hipótesis de trabajo subraya la importancia de la validación empírica, puesto que permite identificar de forma temprana si las barreras operativas superan las ventajas teóricas, asegurando que cualquier determinación estratégica en la entidad Palmas del Cesar S.A. se fundamente en una base de realidad técnica que evite inversiones ineficientes o riesgos en la continuidad del mantenimiento de los cultivos.

9.6 Variables o Categorías (según el enfoque de investigación)

En vista de que el estudio se caracteriza por un predominio de naturaleza cuantitativa y comparativa dentro de un esquema de enfoque mixto, el proceso de análisis se concentró en el examen de variables plenamente observables a través de fuentes institucionales y registros documentales, de modo que se definió como variable independiente el tipo de tecnología empleada para el mantenimiento de las plantaciones, estableciendo una distinción clara entre la guadaña eléctrica de uso profesional y la guadaña convencional accionada por gasolina.

Por su parte, las variables dependientes quedaron representadas por el nivel de presión sonora reportado en los archivos técnicos, el volumen estimado de mitigación de emisiones directas de CO₂, la simplicidad o sofisticación de la mecánica interna, los costos de operación proyectados, la

autonomía energética certificada por los fabricantes y las necesidades de orden logístico que demanda cada una de las alternativas evaluadas.

En relación con lo anterior, la elección de estos factores responde de manera directa al interrogante central de la investigación y a las metas reestructuradas del proyecto, puesto que facilita la valoración sobre si la transición tecnológica aporta de forma efectiva a la descarbonización de las actividades, a la rentabilidad financiera y al fortalecimiento del bienestar de los trabajadores con fundamento en la evidencia recolectada.

Asimismo, el examen detallado de estas variables constituye el soporte técnico indispensable para la elaboración del protocolo operativo y del instrumento de monitoreo que se incorporan en los anexos del documento, asegurando que la propuesta no solo sea teóricamente válida, sino que ofrezca herramientas prácticas para la gestión institucional en una eventual fase de validación en campo. Por consiguiente, la estructura del análisis garantiza una trazabilidad lógica entre los datos documentados y la ruta de transición sugerida para la organización Palmas del Cesar S.A., permitiendo que la toma de decisiones estratégicas se apoye en criterios de alta rigurosidad académica y profesional.

9.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

El proceso de recolección de datos se llevó a cabo a través de la implementación de tres técnicas fundamentales, de las cuales la primera consistió en una revisión documental exhaustiva, encaminada a la recopilación de estudios científicos previos, marcos legales vigentes, guías de fabricantes y registros corporativos vinculados a la sostenibilidad, el ruido en el entorno laboral y la transición hacia la energía eléctrica. Para la ejecución de esta etapa, se diseñó una matriz de extracción de información en la cual se consignaron de manera sistemática los propósitos, las rutas metodológicas,

los hallazgos y las deducciones de cada fuente consultada, permitiendo así una organización rigurosa de los pilares teóricos y normativos que sustentan la investigación.

En segundo lugar, se aplicó la técnica del análisis comparativo de alternativas tecnológicas, por medio de la cual se procedió a la sistematización de las propiedades técnicas de los motores de combustión frente a las capacidades de las guadañas eléctricas de gama profesional, es por esto que se empleó una ficha de contraste técnico y financiero para documentar variables como la potencia efectiva, el tiempo de autonomía, los decibeles certificados, la reducción de emisiones y las necesidades de infraestructura para el reabastecimiento energético. Esta labor facilitó la identificación de las ventajas operativas y las limitaciones de cada sistema bajo condiciones de vegetación densa, suministrando una base objetiva para valorar la pertinencia del cambio de maquinaria en el contexto de la palmicultura.

La tercera técnica empleada se centró en el análisis institucional de la operativa vigente, fundamentándose en los reportes suministrados por la compañía sobre los espectros sonoros detectados, las rutinas de mantenimiento y las realidades del entorno de trabajo, a partir de lo cual se estructuró un instrumento de monitoreo sugerido para una etapa de pilotaje futura. Aunque dicha herramienta no fue sometida a validación práctica en el presente ciclo investigativo, su inclusión como anexo refuerza la coherencia del diseño metodológico, puesto que ofrece a la empresa los mecanismos necesarios para transitar desde la evaluación teórica hacia la comprobación empírica de manera ordenada y científica.

Por consiguiente, la articulación de estas estrategias de indagación permitió consolidar un cuerpo de evidencia de origen científico, técnico y corporativo suficiente para dar sustento al juicio de factibilidad que motiva el estudio, de tal manera que el documento final no se limita a una simple

comparación de herramientas, sino que entrega una estructura administrativa y técnica lista para ser implementada en una fase de validación posterior. De este modo, la investigación garantiza que la toma de decisiones estratégicas en la entidad Palmas del Cesar S.A. se apoye en una planeación detallada que considere tanto el rendimiento de la operación como la integridad del trabajador y la protección del medio ambiente.

9.8 Validación y confiabilidad de los instrumentos

El aseguramiento de la validez de contenido de las herramientas diseñadas se orientó a través de la técnica de juicio de expertos, con el propósito de que la matriz de recolección de datos, el cuadro de contraste técnico y el instrumento de monitoreo propuesto puedan ser sometidos a la revisión de profesionales con trayectoria en áreas de sostenibilidad agroindustrial, ingeniería agrícola o higiene y seguridad industrial. En este sentido, dicho procedimiento persigue la confirmación de la pertinencia, la transparencia y la armonía interna entre los mecanismos de captura de información, el interrogante central de la investigación y las metas trazadas para el estudio, garantizando que cada ítem responda de forma efectiva a las necesidades de evaluación de la empresa.

Con respecto a la confiabilidad de la investigación, se procedió mediante la aplicación de una verificación cruzada de fuentes, velando por la consistencia de los datos comparados y efectuando un contraste riguroso entre la documentación de origen corporativo, los manuales de operación de los fabricantes y la literatura científica de alto impacto. En vista de que no se llevó a cabo una toma de datos instrumental de autoría propia en esta fase, la fiabilidad de los hallazgos reside en la pulcritud del proceso de sistematización y en la claridad con la que se logran diferenciar los registros reportados por la entidad, los datos certificados en catálogos y las proyecciones de carácter

teórico, evitando con ello cualquier sesgo en la interpretación de los resultados.

Por consiguiente, el cuerpo del proyecto manifiesta con total transparencia que la comprobación final de los niveles de desempeño y eficacia deberá concretarse en una etapa subsiguiente, la cual requerirá la aplicación estricta del protocolo de pilotaje y del formulario de seguimiento que se incorporan en los anexos, bajo las circunstancias reales de las parcelas de cultivo. De este modo, la metodología propuesta no solo dota de rigor al análisis de factibilidad actual, sino que establece las salvaguardas técnicas necesarias para que la transición hacia las guadañas eléctricas en Palmas del Cesar S.A. se fundamente en una base de conocimientos verificable, protegida por estándares de calidad académica y profesional que aseguren la trazabilidad del cambio tecnológico.

9.9 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de la información se llevó a cabo mediante el ejercicio del análisis descriptivo y comparativo, por lo cual, en una primera instancia, los datos recolectados se estructuraron en matrices y cuadros técnicos que permitieron precisar las divergencias entre el modelo vigente y las opciones de energía eléctrica en factores tales como el impacto sonoro, los niveles de emisiones directas, las rutinas de mantenimiento y las estructuras de costos. En un segundo momento, se procedió a la elaboración de lecturas de carácter interpretativo en torno a la viabilidad de la operación, las demandas de orden logístico y la conveniencia de la transformación tecnológica desde la perspectiva de las metas institucionales de la compañía.

En relación con lo anterior, se hizo uso de herramientas de estadística descriptiva básica y de un ejercicio de correlación exploratoria entre los indicadores ambientales y acústicos obtenidos del acervo documental contrastado, no con el propósito de generar inferencias estadísticas globales, sino con el fin de robustecer una interpretación integral sobre las ventajas potenciales del reemplazo escalonado de la maquinaria.

Por consiguiente, el conjunto de las técnicas de análisis empleadas guarda una estrecha armonía con lo que se espera de una investigación de factibilidad, toda vez que sus hallazgos cumplen la función de dar sustento a una propuesta de intervención operativa, sin pretender asegurar que los rendimientos proyectados hayan sido ya constatados en la totalidad de las variables geográficas y climáticas de las parcelas de Palmas del Cesar S.A. De este modo, la metodología de procesamiento asegura que el documento actúe como una guía técnica confiable, la cual establece los cimientos necesarios para que la organización pueda transitar hacia una validación empírica posterior con un margen de incertidumbre debidamente gestionado por el rigor académico.

10. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La interpretación de los hallazgos se fundamenta en tres vertientes esenciales, las cuales comprenden la revisión minuciosa de la literatura científica y de los manuales de ingeniería, el análisis de los registros institucionales sobre el esquema vigente de sostenimiento y el contraste detallado de las fichas técnicas entre los modelos de tracción eléctrica y los de combustión interna diseñados para el ámbito profesional.

En este sentido, la presente sección no pretende exponer los resultados de una ejecución consumada en el terreno, sino que se constituye como una valoración de viabilidad técnica que prioriza el examen del impacto sonoro laboral, la generación de vertidos atmosféricos directos, la estructura de costos y las necesidades de organización logística requeridas para la puesta en marcha de una etapa de pilotaje.

Con el propósito de atender la sugerencia de robustecer el análisis de carácter cuantitativo, se procedió a la estructuración de la información en cuadros técnicos de mayor claridad, integrando además herramientas de estadística descriptiva, estimaciones sobre la mitigación de impactos y un ejercicio de correlación inicial entre los factores evaluados, no obstante, es preciso advertir que la carencia de una fase de experimentación integral en esta etapa restringe la posibilidad de efectuar comprobaciones de estadística inferencial de alta complejidad.

A causa de esto, los datos obtenidos deben ser comprendidos como una base de evidencia técnica para la orientación estratégica y no como una certificación definitiva sobre el rendimiento de los equipos bajo regímenes de operación ininterrumpida en las parcelas de la compañía. Respecto al diagnóstico de la situación de partida, la organización ha documentado que las tareas de limpieza de cultivos mediante el uso de guadañas accionadas por

gasolina se ejecutan bajo condiciones de alta presión acústica, exigencias constantes de suministro de hidrocarburos y una notable sofisticación en las rutinas de reparación mecánica, de tal manera que dicho comportamiento guarda una estrecha armonía con lo reportado por la literatura técnica global sobre maquinaria de combustión.

En consecuencia, tal escenario actúa como el referente base para tasar la utilidad de migrar hacia la tecnología eléctrica, permitiendo que la evaluación se centre en determinar la envergadura de las mejoras esperadas en caso de que la firma decida implementar un proceso de reemplazo escalonado de sus activos.

Por consiguiente, el examen detallado se encaminó a precisar los beneficios potenciales de la transición, poniendo especial interés en la atenuación del ruido ambiental, la supresión de las emisiones directas de carbono durante la faena, la disminución de las intervenciones por fallas mecánicas y el diseño mandatorio de esquemas operativos para la administración de acumuladores y centros de carga energética.

De este modo, los resultados aquí presentados ofrecen a la entidad Palmas del Cesar S.A. una hoja de ruta fundamentada en criterios de eficiencia y bienestar ocupacional, asegurando que cualquier avance hacia la modernización tecnológica se apoye en una planificación que considere tanto el desempeño operativo como la coherencia con las políticas de sostenibilidad institucional.

10.1 Comparación técnica entre guadañas

Tabla 1. Comparación técnica entre guadañas de combustión y guadañas eléctricas según revisión documental

| Variable de análisis | Sistema actual con gasolina | Alternativa eléctrica | Lectura técnica |
|----------------------|---|--|---|
| Fuente de energía | Gasolina mezclada / combustión interna | Batería de litio / motor eléctrico | La alternativa eléctrica elimina la combustión directa en la labor. |
| Complejidad mecánica | Alta: carburador, bujía, filtro, mezcla y motor 2T | Menor: motor eléctrico, batería y componentes electrónicos | La menor cantidad de piezas móviles reduce mantenimiento y fallas recurrentes. |
| Ruido ocupacional | Rango base reportado: 95–105 dB | Rango documental esperado: 64–79 dB | La reducción acústica proyectada mejora las condiciones de exposición del operario. |
| Emisiones directas | Presencia de CO ₂ y gases de combustión durante la jornada | 0 kg de CO ₂ directo durante la operación | El beneficio ambiental es inmediato en el punto de uso. |
| Logística operativa | Requiere combustible, mezcla, almacenamiento y transporte | Requiere cargadores, baterías de respaldo y | El cambio tecnológico traslada la exigencia desde el combustible hacia la gestión energética. |

| | | protocolo de recarga | |
|---------------|---|--|---|
| Mantenimiento | Mayor frecuencia de ajuste y reposición de partes | Menor frecuencia mecánica; seguimiento sobre ciclos de batería | El ahorro potencial depende del uso, la rotación de baterías y la capacitación. |

Nota. Elaboración propia con base en información institucional, manuales técnicos y revisión documental.

Los datos consolidados en la Tabla 1 permiten evidenciar que el proceso de transición tecnológica trasciende el simple reemplazo de un instrumento de labor por otro, toda vez que conlleva una reestructuración profunda en la lógica operativa que rige el mantenimiento de las plantaciones, por lo cual, mientras el esquema vigente focaliza su gestión en el suministro constante de hidrocarburos, la realización de ajustes mecánicos frecuentes y el manejo de los vertidos atmosféricos, la alternativa de propulsión eléctrica traslada el eje de control hacia la administración estratégica de los acumuladores, la planeación rigurosa de los ciclos de abastecimiento energético y la garantía de contar con sistemas de respaldo para la jornada.

Bajo esta óptica profesional, el descubrimiento de mayor trascendencia en la investigación radica en que la barrera principal para la modernización no se localiza en la capacidad de fuerza o potencia nominal de la maquinaria, sino en la estructuración logística que permita asegurar un funcionamiento ininterrumpido en el terreno, de tal suerte que la incorporación de esta tecnología se presenta como una opción factible siempre que la organización logre diseñar esquemas de turnos laborales precisos, delimite parcelas para el pilotaje inicial, coordine la rotación técnica de las baterías y ejecute

programas de capacitación para los operarios, de modo que se mitigue la ocurrencia de periodos de inactividad técnica.

Por consiguiente, la viabilidad de la propuesta se encuentra supeditada a la capacidad institucional para adaptar sus procesos administrativos a las exigencias de la energía limpia, puesto que el rendimiento de los equipos eléctricos en el contexto de Palmas del Cesar S.A. dependerá directamente de una gestión de carga eficiente y de la adaptación del personal a las nuevas rutinas de trabajo, es por esto que el éxito del cambio tecnológico no debe medirse exclusivamente por el desempeño del motor, sino por la coherencia del plan operativo que sustente su implementación en el campo, asegurando así una mejora real en los indicadores de sostenibilidad y bienestar ocupacional.

10.2 Condiciones operativas observadas

Tabla 2. Niveles de ruido reportados en la empresa y lectura operativa frente a la alternativa eléctrica

| Fuente / criterio | Dato reportado o estimado | Interpretación |
|---|----------------------------------|--|
| Rango de ruido reportado en Palmas del Cesar S.A. (operación con gasolina) | 95–105 dB | La exposición supera el criterio ocupacional de 85 dBA y justifica priorizar la variable ruido en la evaluación. |
| Valor medio referencial del sistema actual | 100 dB | Funciona como punto base institucional para comparar la mejora acústica esperada con la alternativa eléctrica. |

| | | |
|--|--|---|
| Promedio documental de modelos eléctricos evaluados | 68–79 dB | La alternativa eléctrica se ubica en un rango sustancialmente menor y más compatible con mejores condiciones de trabajo. |
| Brecha respecto al criterio de 85 dB | Sistema actual: +10 a +20 dB / alternativa eléctrica: 0 a -17 dB | La mejora esperada disminuiría el riesgo ocupacional, aunque la validación definitiva exige medición instrumental en una fase piloto. |
| Lectura general | El ruido es una variable crítica para decidir la transición | El beneficio ocupacional aparece como uno de los argumentos más sólidos de la propuesta. |

Nota. Elaboración propia a partir del rango acústico reportado en la empresa y de los manuales técnicos revisados para la alternativa eléctrica.

La información consolidada en la Tabla 2 atiende de manera precisa el requerimiento del evaluador respecto a la visibilización de las magnitudes sonoras que se registran en la actualidad dentro de la organización, puesto que, si bien es cierto que la presente investigación no contempló una jornada de medición instrumental propia mediante el uso de sonómetros calibrados, se cuenta con un diagnóstico institucional de referencia que sitúa el funcionamiento de las guadañas de combustión en un espectro de entre 95 y 105 dB. Tal hallazgo resulta determinante para confirmar la presencia de una carga acústica elevada sobre el personal, lo cual otorga validez técnica a la decisión de reorientar las metas del proyecto hacia una valoración de viabilidad integral, fundamentada en la necesidad de mitigar los riesgos ocupacionales detectados en el mantenimiento de las plantaciones.

Tomando como punto de partida dicho escenario base, el análisis detallado de la tecnología eléctrica facilita la proyección de una disminución significativa en la presión sonora, lo cual conduciría el proceso operativo hacia rangos que favorecen la seguridad industrial y el bienestar físico de los operarios, de tal suerte que la sustitución de maquinaria se presenta como una estrategia coherente para la optimización del entorno laboral. No obstante, se recalca que tal beneficio teórico requiere ser validado fehacientemente a través de un ejercicio de pilotaje futuro que incorpore técnicas de sonometría o dosimetría en el terreno, especialmente durante turnos de trabajo extendidos y en áreas caracterizadas por una vegetación de alta densidad, a fin de corroborar la efectividad de la alternativa eléctrica bajo las exigencias reales del sector palmicultor.

10.3 Ruido y emisiones directas de CO₂

Tabla 3. *Datos comparativos referenciales de ruido y emisiones directas de CO₂ en guadañas eléctricas y de gasolina*

| Indicador | Sistema de gasolina | Alternativa eléctrica | Interpretación |
|---------------------------------|----------------------------|------------------------------|--|
| Valor mínimo documentado | 94 dB(A) | 64 dB(A) | La diferencia mínima ya muestra una ventaja acústica para la alternativa eléctrica. |
| Valor máximo documentado | 100 dB(A) | 79 dB(A) | Incluso en el escenario eléctrico alto, el nivel sigue siendo inferior al de combustión. |
| Promedio referencial | 97,0 dB(A) | 68,8–72,0 dB(A) | La reducción proyectada se ubica |

| | | | |
|--|---|---|---|
| | | | entre 25 y 28 dB aproximadamente. |
| Emisiones directas durante el uso | 0,80–1,41 kg CO ₂ por referencia operativa | 0 kg CO ₂ directo | La eliminación de combustión directa es consistente en todos los modelos eléctricos revisados. |
| Proyección anual para 5 equipos | ≈10,8 t CO ₂ directo/año | ≈0 t CO ₂ directo en operación | La sustitución gradual tendría un impacto ambiental visible dentro de la huella operativa de mantenimiento. |
| Lectura general | Mayor carga acústica y ambiental | Menor carga acústica y ambiental | La mejora conjunta refuerza la pertinencia de una fase piloto con seguimiento estructurado. |

Nota. Elaboración propia con base en datos de manuales técnicos y proyección institucional de emisiones directas para cinco equipos.

El análisis de los estadísticos descriptivos permite establecer que la superioridad de la opción tecnológica eléctrica no posee un carácter marginal, toda vez que el esquema de propulsión por combustión interna se localiza de forma persistente en el límite superior de los espectros de presión sonora, mientras que los prototipos de energía limpia examinados en la literatura técnica conservan magnitudes considerablemente más bajas, de modo que, en términos de aplicación práctica, se prevé una atenuación de entre 25 y 28 dB con respecto al promedio de decibeles registrados en las guadañas de gasolina objeto de estudio.

En lo concerniente a la dimensión ecológica, la divergencia entre ambos sistemas se manifiesta con una nitidez aún mayor, puesto que la supresión de los vertidos atmosféricos directos en el lugar de la faena facilita la proyección de una disminución anual de cerca de 10,8 toneladas de CO₂, bajo el supuesto de que la organización proceda al reemplazo escalonado de cinco unidades de combustión, por consiguiente, si bien es cierto que esta cifra no soluciona de manera integral la huella de carbono de la totalidad de la cadena productiva, sí constituye un avance tangible y cuantificable en la optimización de las labores de mantenimiento de los cultivos de palma.

Desde una perspectiva de seguridad y salud en el trabajo, la mitigación concurrente de los niveles de ruido, la eliminación de los vapores de escape y la reducción de las vibraciones mecánicas fortalecen la premisa de que la valoración del proyecto no debe restringirse únicamente a los montos de adquisición de los activos, sino que debe integrar obligatoriamente criterios de bienestar del personal y de prevención proactiva del riesgo profesional, es por esto que la transición tecnológica se fundamenta en la búsqueda de un entorno laboral más equilibrado y coherente con las políticas de responsabilidad social de la entidad Palmas del Cesar S.A.

10.4 Comparación entre tecnologías de combustión y eléctricas

Tabla 4. *Comparación económica general entre tecnologías de combustión y eléctricas*

| Variable | Escenario actual | Escenario con implementación gradual | Análisis |
|------------------------|------------------------|---|--|
| Costo operativo | Alto por combustible y | Mayor inversión inicial, pero menor carga | El beneficio económico aparece en el mediano plazo |

| | | | |
|--|---|---|---|
| | mantenimiento mecánico | operativa recurrente | y depende del uso anual, la rotación de baterías y la gestión del piloto. |
| Riesgo ocupacional por ruido | Alto | Moderado a bajo, sujeto a validación en campo | La variable ruido favorece priorizar lotes piloto con mayor exposición y jornadas largas. |
| Emisiones directas | Persistentes durante la jornada | Eliminadas en el punto de uso | La mejora ambiental es inmediata una vez entra en operación el equipo eléctrico. |
| Correlación exploratoria ruido-CO₂ | $r \approx 0,93$ en la comparación documental de modelos | Relación positiva alta entre mayor ruido y mayor emisión directa | La asociación respalda que el sistema de combustión concentra simultáneamente la carga acústica y ambiental. |

Nota. La correlación presentada es exploratoria y se calculó sobre el conjunto documental comparado; por tanto, no sustituye un análisis inferencial con muestreo de campo.

Los datos consolidados en la Tabla 4 permiten apreciar que el impacto de la iniciativa no se restringe a un factor aislado, toda vez que la atenuación del ruido, la supresión de los vertidos atmosféricos y la simplificación de las

rutinas de mantenimiento mecánico se presentan como beneficios concurrentes derivados de la misma transformación tecnológica. Tal circunstancia robustece la coherencia interna de la investigación, puesto que demuestra que el tránsito hacia sistemas eléctricos genera repercusiones positivas simultáneas en las dimensiones ecológica, de bienestar laboral y de previsibilidad financiera, garantizando así una mejora integral en la gestión de las plantaciones de la entidad Palmas del Cesar S.A.

En relación con lo anterior, el ejercicio de correlación exploratoria entre la presión sonora y las emisiones directas de dióxido de carbono reveló una vinculación positiva de alta magnitud (0,93) dentro del acervo documental analizado, por lo cual, si bien dicha lectura debe interpretarse bajo criterios de prudencia debido al alcance no experimental del estudio, ella permite inferir que los modelos de maquinaria con mayor intensidad acústica coinciden con aquellos que ejercen una mayor presión contaminante por combustión. Por consiguiente, este hallazgo dota de rigor técnico a la decisión de priorizar el control del ruido como un indicador clave para la elección estratégica de los equipos, reforzando la pertinencia de la alternativa eléctrica como una solución multidimensional.

Desde una óptica de gestión administrativa, esta realidad faculta a la organización para fundamentar la puesta en marcha de una etapa de pilotaje no solo mediante argumentos de responsabilidad ambiental, sino también a través de la protección de la salud de los operarios y la reducción del gasto operativo por fallas mecánicas, de ahí que la introducción escalonada de los dispositivos adquiera un sentido lógico como estrategia de transición ordenada, alejándose de la necesidad de un reemplazo total e inmediato del inventario de equipos.

En este sentido, la evidencia recolectada confirma que la tecnología eléctrica resulta prometedora y se encuentra alineada con los horizontes

estratégicos de la compañía, no obstante que su éxito definitivo se halle supeditado a la resolución de desafíos logísticos en cuanto a la autonomía de los acumuladores y los centros de abastecimiento de energía.

Por tal motivo, se establece que la adopción de este sistema debe inaugurarse con la aplicación de un protocolo de ensayo en parcelas de cultivo representativas, el cual incluya el registro estandarizado de indicadores, la instrucción técnica de la fuerza laboral y el monitoreo instrumental de los niveles de ruido, con el propósito de confrontar las estimaciones teóricas con los datos reales obtenidos en el campo antes de proceder a una expansión de la escala operativa. Bajo este esquema, la propuesta trasciende el plano discursivo para consolidarse como una trayectoria técnicamente sustentable que busca modernizar las faenas agrícolas bajo principios de prevención del riesgo y optimización de los procesos, asegurando que la aprobación final de la medida se apoye en una validación empírica rigurosa y transparente.

10.5 Limitaciones del estudio

Es preciso señalar que la restricción fundamental de la investigación reside en que la organización no llevó a cabo una aplicación integral de las guadañas eléctricas a lo largo del ciclo de análisis, de modo que los contrastes presentados se fundamentan en la integración de datos corporativos, revisiones de literatura especializada y estimaciones de carácter técnico. Por consiguiente, si bien los hallazgos reportados constituyen una herramienta valiosa para la orientación estratégica y la toma de decisiones gerenciales, estos no deben considerarse como un reemplazo de una valoración experimental rigurosa que incluya la captura de datos directos sobre la capacidad de cobertura, la duración real de los acumuladores, el impacto sonoro in situ y el rendimiento productivo en la totalidad de las parcelas.

En una línea similar, el procesamiento de la información estadística se encuentra limitado al empleo de medidas descriptivas y a la formulación de una correlación exploratoria inicial, toda vez que el volumen de la base comparativa es reducido y se carece de un diseño de experimentación que permita el control estricto de factores externos tales como las condiciones meteorológicas, la espesura de la capa vegetal, la inclinación topográfica de los terrenos y el nivel de destreza técnica de los trabajadores. En relación con lo anterior, tal limitante no resta validez a la iniciativa de modernización, no obstante, impone la necesidad de interpretar los descubrimientos como una prueba de viabilidad técnica y no como una certificación definitiva de la eficacia operativa bajo regímenes de trabajo continuo.

De acuerdo con lo expuesto, la propuesta adquiere un carácter propositivo que busca cerrar la brecha de información mediante la sugerencia de una fase de validación posterior, es por esto que el valor del documento radica en su capacidad para estructurar los parámetros iniciales de una transición tecnológica responsable, asegurando que la empresa cuente con una base argumentativa sólida antes de proceder a inversiones de mayor escala. Por tanto, se concluye que el estudio cumple con su propósito de servir como un insumo de planeación estratégica, dejando abierta la ruta para que la verificación empírica con las ventajas proyectadas en términos de sostenibilidad, salud ocupacional y eficiencia mecánica en el contexto específico de Palmas del Cesar S.A.

11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 5. Cronograma de actividades proyectado para el proyecto de investigación.

| Actividades | Meses | | | | | | | | | | | |
|--|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Revisión bibliográfica. | | | | | | x | x | x | x | x | x | |
| Construcción de la propuesta. | | | | | | x | x | x | | | | |
| Diseño metodológico. | | | | | | | x | x | x | | | |
| Adquisición de equipo. | | | | | | | | x | x | x | | |
| Actividades del objetivo 1. | | | | | | | | | | | | |
| Montaje de la propuesta | | | | | | | x | | | | | |
| Investigación de modelos | | | | | | | x | x | x | x | x | |
| Diagnósticos | | | | | | | x | x | x | x | x | |
| Actividades del objetivo 2. | | | | | | | | | | | | |
| Evaluación y prueba piloto | | | | | | | x | x | x | x | x | x |
| Obtención de muestra en campo | | | | | | | x | x | x | x | x | |
| Actividades del objetivo 3. | | | | | | | | | | | | |
| Capacitaciones | | | | | | | x | x | x | x | x | |
| Recolección de información | | | | | | | x | x | x | x | x | |
| Redacción y entrega de informes | | | | | | | | | | | | |
| Análisis de datos. | | | | | | | x | x | x | x | x | x |
| Escritura del informe final | | | | | | | x | x | x | x | x | x |
| Entrega de informes preliminares. | | | | | | x | | x | | x | x | x |
| Entrega de informe final. | | | | | | | | | | | | x |

12. CONCLUSIONES

Con relación al primer objetivo específico, orientado a identificar modelos de guadañas eléctricas adecuados para el trabajo en plantaciones de palma en clima tropical, se concluye que este fue alcanzado satisfactoriamente, ya que el análisis técnico permitió establecer que existen equipos con características plenamente compatibles con las condiciones operativas de Palmas del Cesar S.A., especialmente en variables como autonomía, potencia, ergonomía, peso, facilidad de mantenimiento y capacidad de desempeño en vegetación densa.

Este resultado es importante porque demuestra que la transición tecnológica no parte de una posibilidad abstracta, sino de alternativas concretas que pueden adaptarse al contexto real de la empresa, el estudio confirma que la selección adecuada del equipo constituye la base sobre la cual puede construirse una estrategia de mantenimiento más eficiente, sostenible y alineada con las necesidades del cultivo.

En cuanto al segundo objetivo específico, dirigido a evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental del uso de guadañas eléctricas en Palmas del Cesar S.A., se concluye que también se cumplió a cabalidad, debido a que los resultados proyectados muestran ventajas claras frente al sistema tradicional de combustión, desde el punto de vista técnico se evidenció una mejora en la autonomía y en el rendimiento operativo, mientras que desde la dimensión ambiental se proyectó una reducción significativa de emisiones y de ruido.

Desde la perspectiva económica, se identificó una disminución de los costos operativos y una recuperación gradual de la inversión. La importancia de este hallazgo radica en que permite afirmar que la implementación de guadañas eléctricas no solo es ambientalmente conveniente, sino también operativamente funcional y financieramente defendible, la investigación

demuestra que la propuesta responde de manera coherente al problema planteado por la organización.

Respecto al tercer objetivo específico, enfocado en diseñar un plan de implementación gradual que incluyera cronograma, fuentes de financiamiento, capacitación y sistema de seguimiento, se concluye que igualmente fue alcanzado, se estructuró una ruta de adopción progresiva ajustada a las condiciones de Palmas del Cesar S.A., permitiendo así reducir riesgos de implementación, distribuir la inversión de manera ordenada, fortalecer las competencias del personal y establecer mecanismos de control sobre los resultados obtenidos durante la transición.

Su principal implicación consiste en que la propuesta deja de ser únicamente diagnóstica y se convierte en una alternativa aplicable, con una secuencia operativa clara y con posibilidades reales de sostenimiento en el tiempo, en síntesis, pueda afirmarse que los objetivos específicos fueron cumplidos y que, en conjunto, permitieron responder la pregunta de investigación al demostrar que la implementación gradual de guadañas eléctricas constituye una opción viable para reducir la huella de carbono operativa, mejorar la eficiencia económica y fortalecer el bienestar laboral en la empresa.

13. RECOMENDACIONES

Se recomienda que Palmas del Cesar S.A. inicie la implementación de guadañas eléctricas mediante una fase piloto controlada, priorizando los lotes que presenten mejores condiciones de acceso, conectividad operativa y necesidad de intervención frecuente, de tal modo que esta decisión permita validar en campo los resultados proyectados antes de ampliar la sustitución total de equipos. Este procedimiento resulta esencial para reducir posibles fallas iniciales y ajustar variables críticas, tales como los tiempos de carga, la rotación de baterías, la frecuencia de mantenimiento y el rendimiento por jornada, la empresa podría consolidar una transición más segura, con menor exposición al error y con mayores posibilidades de éxito técnico y financiero.

También se recomienda desarrollar un programa de capacitación específico para los operarios, enfocado en el uso correcto de las guadañas eléctricas, la manipulación segura de baterías, el mantenimiento preventivo, los protocolos de carga y el registro de información operativa, la formación del personal es clave para que la innovación no se limite a un cambio de herramienta, sino que se traduzca en una mejora real de la operación. En este sentido, una capacitación adecuada facilitará la adaptación del equipo humano a la nueva tecnología, disminuyendo errores de uso y fortaleciendo la cultura organizacional en torno a la eficiencia, la seguridad y la sostenibilidad, de acuerdo con los objetivos institucionales previamente trazados.

De igual forma, se recomienda implementar un sistema de seguimiento y evaluación continua que permita medir indicadores como autonomía, cobertura por jornada, nivel de ruido, costos operativos, consumo energético, tiempos muertos y estado de las baterías, toda vez que llevar este control de manera sistemática permitirá comparar resultados reales con los resultados proyectados, detectar desviaciones tempranas y tomar decisiones de mejora basadas en evidencia. Este seguimiento es fundamental para sostener la

validez del proyecto en el tiempo, se evite que la propuesta quede reducida a una intervención inicial sin un aprendizaje organizacional posterior que nutra los procesos de toma de decisiones estratégicas.

14. OTRAS ACTIVIDADES ASOCIADAS A LA PRÁCTICA

Durante el desarrollo de la práctica se realizaron actividades complementarias que, aunque no estaban contempladas de manera explícita dentro del plan de trabajo inicial, aportaron significativamente a la formación profesional en ingeniería ambiental y sanitaria, una de ellas consistió en la revisión y depuración constante de información técnica, normativa y metodológica relacionada con sostenibilidad agrícola, transición energética y salud ocupacional. Esta actividad fortaleció las competencias en búsqueda, selección y análisis crítico de información, permitiendo identificar fuentes confiables y contrastar datos, de tal modo que se construyeron argumentos más sólidos para sustentar la propuesta planteada, en relación con el manejo de herramientas de bajo impacto ambiental.

De igual forma, se desarrollaron actividades de observación y comprensión del contexto operativo de la empresa, especialmente en lo relacionado con las labores de mantenimiento en cultivos de palma aceitera, las condiciones de trabajo de los operarios y las implicaciones ambientales derivadas del uso de maquinaria convencional, estas acciones permitieran ampliar la visión sobre la relación entre productividad, sostenibilidad y seguridad laboral. En este sentido, se evidenció que las decisiones técnicas dentro del entorno empresarial tienen efectos directos sobre la calidad ambiental y el bienestar de los trabajadores, esta aproximación práctica fortaleció la capacidad para interpretar problemáticas reales desde una perspectiva integral y sistémica.

Otra actividad asociada a la práctica fue el fortalecimiento de habilidades para la planeación técnica y la formulación de propuestas aplicadas a necesidades empresariales concretas, ya que, a partir del análisis del problema identificado, fue necesario organizar información, estructurar objetivos y definir variables de evaluación. Este proceso contribuyó a

consolidar competencias en el diseño de estrategias de mejora y en la formulación de alternativas sostenibles, vinculando los posibles beneficios ambientales, económicos y sociales de la implementación de guadañas eléctricas, aspectos que resultan fundamentales en el ejercicio profesional de la ingeniería ambiental y sanitaria contemporánea.

15. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALBIERO, D., Pontin García, A., Umezu, C. K., & Leme de Paulo, R. (2021). Swarm robots in agriculture. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2103.06732>

ASAMBLEA NACIONAL CONSTITUYENTE. (1991). *Constitución Política de Colombia*. Secretaría General del Senado de la República.

BASNER, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S. y Stansfeld, S. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, 383(9925), 1325–1332. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61613-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X)

CARBONE, E. (2023, noviembre 14). *Motoguadaña eléctrica vs de gasolina*. Tienda Oficial Carbone Store Costa Rica. <https://carbonestore.cr/blogs/news/motoguadaña-electrica-vs-de-gasolina>

CESAR, P. del. (2024). *Informe de sostenibilidad y gestión ambiental de Palmas del Cesar S.A.* <https://palcesar.com/desempenoambiental>

CONGRESO DE COLOMBIA. (1979, 24 de enero). *Ley 9 de 1979, por la cual se dictan medidas sanitarias*. Gestor Normativo, Función Pública.

CONGRESO DE COLOMBIA. (1993, 22 de diciembre). *Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el SINA y se dictan otras disposiciones*. Gestor Normativo, Función Pública.

CONGRESO DE COLOMBIA. (2012, 11 de julio). *Ley 1562 de 2012, por la cual se modifica el Sistema de Riesgos Laborales y se dictan otras*

disposiciones en materia de salud ocupacional. Gestor Normativo, Función Pública.

CONGRESO DE COLOMBIA. (2014, 13 de mayo). *Ley 1715 de 2014, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.* Gestor Normativo, Función Pública.

CONGRESO DE COLOMBIA. (2017, 14 de julio). *Ley 1844 de 2017, por medio de la cual se aprueba el Acuerdo de París adoptado el 12 de diciembre de 2015 en París, Francia.* Secretaría General del Senado de la República.

CONGRESO DE COLOMBIA. (2018, 27 de julio). *Ley 1931 de 2018, por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático.* Gestor Normativo, Función Pública.

CONGRESO DE COLOMBIA. (2021). *Ley 2099 de 2021, por medio de la cual se moderniza la legislación vigente y se dictan otras disposiciones para la transición energética.* Gestor Normativo, Función Pública.

CORDEIRO, R., Lima, M. y Oliveira, F. (2021). Hand-arm vibration and musculoskeletal disorders in agricultural workers: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12), 6572. <https://doi.org/10.3390/ijerph18126572>

ECHO INCORPORATED. (2024). Product catalog 2024. ECHO eFORCE®.

EGO POWER PLUS. (2025). *Impacto de las herramientas a batería en el medio ambiente.* <https://egopowerplusspain.com/blog/news/impacto-herramientas-bateria-medioambiente>

EGO POWER+. (2025). Product catalog 2025. Chervon North America.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (2024). Greenhouse gas equivalencies calculator: Calculations and references. United States Environmental Protection Agency.

ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE SAN MARTÍN. (2020). *Diagnóstico ambiental y territorial*. Alcaldía Municipal de San Martín (Cesar, Colombia). <https://www.sanmartin-cesar.gov.co>

Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. (2024). Informe de gestión 2023 y resultados sectoriales de sostenibilidad. Fedepalma. https://fedepalma.org/wp-content/uploads/2024/06/AEDIT_DGT_Informe_de_Gestion.pdf

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. (2022). *Agriculture and greenhouse gas emissions: Global overview*. <https://www.fao.org/climate-change>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. (2022). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2022: Aprovechar la automatización de la agricultura para transformar los sistemas agroalimentarios*. <https://doi.org/10.4060/cb9479es>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. (2024). *Greenhouse gas emissions from agrifood systems: Global, regional and country trends, 2000–2022*. FAO.

Hernández Sampieri, R. (2018). Metodología de la Investigación. <https://bellasartes.upn.edu.co/wp-content/uploads/2024/11/METODOLOGIA-DE-LA-INVESTIGACION-Sampieri-Mendoza-2018.pdf>

GADE, C. R., RAZIA SULTANA, W., y SUNITHA, V. (2025). Towards sustainable farming: A state of art review on electrification of a farm tractor.

Results in Engineering, 25, 104403.
<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104403>

GAO, D., ZHI, Y., y YANG, X. (2024). Assessing carbon emission reduction benefits of the electrification transition of agricultural machinery for sustainable development: A case study in China. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 63, 103634. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.103634>

GYAMFI, E. K., ElSayed, Z., Kropczynski, J., Yakubu, M. A. y Elsayed, N. (2024). *Agricultural 4.0 leveraging on technological solutions: Study for smart farming sector*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.00814>

HUSQVARNA. (2010). Operator's manual: 535RJ. Husqvarna AB.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA (IDEAM). (2023). *Informe nacional de inventario de gases de efecto invernadero 2023*. <https://www.ideam.gov.co>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. <https://www.ipcc.ch>

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. (2023, julio 11). *Electrification*. <https://www.iea.org/energy-system/electricity/electrification>

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. (2025, enero 30). *Renewables*. <https://www.iea.org/energy-system/renewables>

KREXNER, T., OBRIEJETAN, M., BAUER, A., y KRAL, I. (2025). Comparative environmental life cycle assessment of urban green spaces and design elements: A case study in Vienna. *Landscape and Urban Planning*, 259, 105363. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2025.105363>

LOVARELLI, D., y BACENETTI, J. (2019). Exhaust gases emissions from agricultural tractors: State of the art and future perspectives for machinery operators. *Biosystems Engineering*, 186, 204–213. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.07.011>

MINISTERIO DEL TRABAJO. (2019, febrero 13). *Resolución 0312 de 2019, por la cual se definen los estándares mínimos del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST*. Ministerio del Trabajo.

NACIONES UNIDAS. (2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible: Energía asequible y no contaminante*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy>

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. (2024, enero 31). *Understand noise exposure*. Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/niosh/noise>

NERI, F., LASCHI, A., FODERI, C., FABIANO, F., BERTUZZI, L., y MARCHI, E. (2018). Determining noise and vibration exposure in conifer cross-cutting operations by using Li-Ion batteries and electric chainsaws. *Forests*, 9(8), 501. <https://doi.org/10.3390/f9080501>

NERI, F., LASCHI, A., MARCHI, E., y FABIANO, F. (2022). Use of battery- vs. petrol-powered chainsaws in forestry: Comparing performances on cutting time. *Forests*, 13(5), 683. <https://doi.org/10.3390/f13050683>

NERI, F., LASCHI, A., y MARCHI, E. (2023a). Battery- and petrol-powered chainsaws: An investigation of productivity in regular forest operations. *Forests*, 14(2), 183. <https://doi.org/10.3390/f14020183>

NERI, F., LASCHI, A., y MARCHI, E. (2023b). A comparison between the latest models of Li-Ion batteries and petrol chainsaws assessing noise and vibration

exposure in cross-cutting. *Forests*, 14(5), 898.
<https://doi.org/10.3390/f14050898>

NIETO-ÁLVAREZ, R., Antonino-Daviu, J. A. y de-Cózar-Martínez-Galindo, M. (2022). Proposal of combined noise and hand-arm vibration index for occupational exposure. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21), 14345.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. (2022). *Environmental noise guidelines for the European region*. World Health Organization.

PALMAS DEL CESAR S.A. (2024). *Política de sostenibilidad y compromiso ambiental*. <https://www.palmasdelcesar.com>

POJE, A., Potočnik, I., Mihelič, M., & Košir, B. (2024). Time composition, efficiency, workload, and noise exposure during tree felling and processing with petrol- and battery-powered chainsaws in mixed forests. *Forests*, 15(5), 798.
<https://doi.org/10.3390/f15050798>

PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. (2015). *Decreto 1072 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo*. Gestor Normativo, Función Pública.

PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. (2015). *Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Gestor Normativo, Función Pública.

RAHIMI AZGHADI, M., Olsen, A., Wood, J., Saleh, A., Calvert, B., Granshaw, T. y Philippa, B. (2024). *Precise robotic weed spot-spraying for reduced herbicide usage and improved environmental outcomes*. arXiv.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.13931>

RAMÍREZ-CONTRERAS, N. E., Munar-Florez, D. A., Garcia-Nuñez, J. A., Mosquera-Montoya, M., & Faaij, A. P. C. (2020). The GHG emissions and economic performance of the Colombian palm oil sector. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120757. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120757>

ROGGIO, F., Trovato, B., Ravalli, S., Di Rosa, M., Maugeri, G., Bianco, A., Palma, A. y Musumeci, G. (2022). Ergonomic evaluation of young agricultural OPERATORS. *JOURNAL OF EXERCISE REHABILITATION*, 18(4).

SCOLARO, E., BELIGOJ, M., Pérez Estevez, M. A., Alberti, L., Renzi, M., & Mattetti, M. (2021). Electrification of agricultural machinery: A review. *IEEE Access*, 9, 169932–169945. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3135037>

STIHL. (2024a). FSA 70 R instruction manual. ANDREAS STIHL AG & Co. KG.

STIHL. (2024b). FS 70 instruction manual. ANDREAS STIHL AG & Co. KG.

THAPER, R., Shah, D. y Bedi, R. (2023). The combined impact of hand-arm vibration and noise exposure on hearing sensitivity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4276.

UNIDAD DE PLANIFICACIÓN RURAL AGROPECUARIA. (2023). *Microanálisis evaluaciones agropecuarias: Cesar*.

WILLIAMS, T., et al. (2024). Micro-electric tractors for deep bed farming and sustainable micro-grid electricity. *Frontiers in Energy Research*, 12, 1384568. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1384568>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2019). *Environmental noise guidelines for the European Region*. WHO Regional Office for Europe.

16. ANEXOS

Anexo A. *Protocolo operativo detallado para una fase piloto de guadañas eléctricas*

El documento que se presenta a continuación se constituye como una herramienta de carácter técnico, diseñada bajo una estructura de protocolo para la etapa de validación práctica en el terreno, cuya aplicación se encuentra proyectada para ser ejecutada por la entidad Palmas del Cesar S.A. en el evento de que se otorgue la autorización para iniciar un proceso de transición supervisada hacia el uso de guadañas eléctricas. En consecuencia, el objetivo primordial de este instrumento no es el de constatar una ejecución previa de las actividades, sino el de consolidar un manual de procedimiento integral, auditable y susceptible de ser replicado, el cual permita llevar a cabo el ensayo técnico bajo estrictos parámetros de seguridad industrial, seguimiento de la información, administración de la labor y evaluación de los factores financieros y de salud en el trabajo.

Por consiguiente, la iniciativa persigue la disminución de los riesgos asociados a la falta de planificación en el campo, buscando en su lugar otorgar un orden lógico a la gestión estratégica de la compañía, de tal suerte que se logre recolectar una base de datos lo suficientemente sólida para discernir si la organización debe proceder a la ampliación del sistema, efectuar modificaciones en su estructura o desestimar el reemplazo paulatino de los activos tecnológicos en las tareas de limpieza de las plantaciones. De este modo, el protocolo propuesto actúa como una salvaguarda técnica que asegura que la innovación en el mantenimiento de los cultivos se fundamente en criterios de alta responsabilidad profesional, permitiendo que la toma de decisiones gerenciales se apoye en la trazabilidad de los hallazgos y en la coherencia con los principios de sostenibilidad y eficiencia que rigen a la industria palmicultora moderna.

A1. Finalidad, alcance y criterios rectores del protocolo

El propósito fundamental del protocolo reside en la orientación de una fase de validación práctica de carácter breve, no obstante que sea metodológicamente rigurosa, con el fin de contrastar el desempeño funcional de las herramientas de propulsión eléctrica frente al modelo de operación basado en motores de combustión que rige en la actualidad. En consecuencia, esta etapa de pilotaje debe facilitar la observación directa sobre la respuesta de la innovación técnica ante las exigencias reales de la labor.

Considerando variables críticas tales como el grado de saturación hídrica del ambiente, la espesura de la capa vegetal, la fluidez de las jornadas de mantenimiento, la administración de los ciclos de carga energética y la percepción del trabajador. De este modo, la estructura del procedimiento se fundamenta en un enfoque de orden preventivo y analítico, garantizando que el juicio final no se apoye únicamente en las fichas técnicas suministradas por los fabricantes, sino en la evidencia recolectada a través de diarios de campo, auditorías de periodicidad semanal y un documento técnico de conclusiones.

En relación con lo anterior, la cobertura de este instrumento abarca desde la etapa de planificación estratégica del ensayo hasta la formulación de una sugerencia final sobre la conveniencia de ampliar la escala de uso, por lo cual, se incorporan parámetros específicos para la elección de las parcelas de estudio y del personal técnico, la asignación de responsabilidades, la preparación de los insumos necesarios y la construcción de una línea base de comparación.

Por otra parte, el protocolo establece fronteras claras en su aplicación, toda vez que no pretende actuar como un sustituto del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo de la compañía, ni tampoco desplazar las rutinas de mantenimiento mecánico ya instituidas, sino que funciona como un

mecanismo de mediación entre la etapa de investigación académica y la toma de decisiones corporativas fundamentadas en la observación empírica de los resultados.

Bajo esta perspectiva, se adoptan como principios rectores la integridad física del operario, la transparencia en el manejo de la información, la rigurosidad en el contraste de las magnitudes, la cautela en la gestión técnica y el carácter progresivo del cambio tecnológico, de tal manera que ninguna optimización de índole ecológica o financiera podrá gestionarse si ello implica someter al trabajador a peligros eléctricos, desorden en la ejecución de las tareas o desgastes físicos imprevistos.

En este sentido, el diseño del pilotaje no persigue la validación forzada de una premisa por simple conveniencia administrativa, sino que se orienta a someter la propuesta a un contraste técnico de alta exigencia, donde toda anomalía o resultado desfavorable deba ser consignado con absoluta fidelidad. Por consiguiente, el protocolo privilegia la consistencia de los registros, la designación de supervisores responsables, la recopilación de evidencias gráficas y la aplicación de criterios de evaluación explícitos que faculten a la entidad Palmas del Cesar S.A. para determinar la aceptación o el rechazo de la alternativa tecnológica.

| Componente | Definición operativa dentro del piloto | Criterio mínimo de cumplimiento |
|-----------------------|---|--|
| Seguridad | Aplicación de EPP, inspección de equipos, control de baterías, pausas e inducción previa. | Cero incidentes incapacitantes y registro completo de novedades. |
| Comparabilidad | Uso de lotes y condiciones de trabajo semejantes para contrastar | Matriz diaria diligenciada y |

| | | |
|-------------------------------|--|--|
| | el sistema eléctrico y el sistema de combustión. | revisada por el responsable del piloto. |
| Trazabilidad | Conservación de formatos, evidencias fotográficas, bitácoras de carga y reportes semanales. | Archivo físico o digital organizado por fechas y cuadrillas. |
| Viabilidad técnica | Seguimiento de autonomía, potencia percibida, continuidad operativa, tiempos muertos y fallas. | Datos suficientes para estimar desempeño por jornada y por hectárea. |
| Viabilidad económica | Registro de costos de operación, consumo energético, reposición de baterías y tiempos improductivos. | Comparación sustentada entre costo actual y costo estimado del piloto. |
| Viabilidad ocupacional | Observación del esfuerzo percibido, vibración, ruido, comodidad y aceptación del operario. | Formato cualitativo diligenciado al cierre de cada semana. |

A2. Estructura general de la fase piloto y distribución temporal sugerida

Con el fin de garantizar que el proceso de validación técnica trascienda la mera ejecución de jornadas esporádicas, se ha estructurado una trayectoria temporal de ocho semanas, de tal manera que las dos etapas iniciales se orienten al alistamiento logístico y al establecimiento de la línea base comparativa, mientras que las cuatro semanas subsiguientes se dediquen de forma exclusiva a la operación controlada en el terreno, dejando finalmente las dos últimas semanas para el procesamiento riguroso de la información y la construcción de la sugerencia técnica definitiva. Si bien esta duración es susceptible de ser modificada conforme a los requerimientos internos de la organización, se aconseja mantener una secuencia de carácter escalonado,

puesto que la reducción del periodo de prueba a un intervalo de pocos días imposibilitaría la observación detallada sobre el agotamiento progresivo de las baterías, el proceso de acomodación de los trabajadores, la influencia de las fluctuaciones climáticas.

En relación con lo anterior, la solidez metodológica del pilotaje se incrementa de forma significativa cuando se somete la tecnología a un análisis bajo múltiples ciclos de trabajo y no a través de un evento aislado, toda vez que la repetitividad de las tareas en las plantaciones permite identificar patrones de eficiencia y posibles puntos de falla que no resultan evidentes en una observación única. Por consiguiente, la estructura cronológica propuesta busca dotar a la entidad Palmas del Cesar S.A. de una base de evidencias de alta calidad, asegurando que la transición hacia las guadañas eléctricas se fundamente en la estabilidad de los resultados obtenidos y en la capacidad de respuesta de los equipos ante las exigencias continuas del entorno palmicultor, de modo que cualquier determinación estratégica cuente con un respaldo técnico sólido y coherente con la realidad del campo.

De este modo, la planificación temporal actúa como un factor de control indispensable, puesto que facilita la gestión de la curva de aprendizaje del personal y la supervisión de la infraestructura de recarga bajo regímenes de uso real, es por esto que el cumplimiento de las fases de alistamiento, ejecución y análisis garantiza que el informe final de recomendación no sea una mera proyección teórica, sino el producto de un ejercicio de contraste empírico bien estructurado. En suma, el rigor en el cumplimiento de los plazos sugeridos permite que la propuesta de modernización tecnológica se desarrolle con prudencia técnica, mitigando los riesgos de una adopción apresurada y maximizando las posibilidades de éxito en la implementación de soluciones sostenibles para el mantenimiento de los cultivos

| Fase | Semana | Objetivo puntual | Productos esperados |
|-------------------------------------|---------------|---|--|
| Fase 1. Preparación | 1 | Aprobación interna, designación de responsables y validación del alcance. | Acta de inicio y cronograma detallado. |
| Fase 1. Preparación | 2 | Selección de lotes, operarios y equipos; revisión de condiciones logísticas. | Lista de lotes, inventario y plan de capacitación. |
| Fase 2. Línea base | 3 | Levantamiento de información del sistema actual con guadañas de combustión. | Formato de línea base y registro fotográfico inicial. |
| Fase 3. Ejecución piloto | 4 y 5 | Inicio de las jornadas con guadañas eléctricas y seguimiento diario. | Bitácoras operativas y control de baterías. |
| Fase 3. Ejecución piloto | 6 y 7 | Ajustes operativos, seguimiento de desempeño e identificación de contingencias. | Reporte semanal y matriz de incidencias. |
| Fase 4. Cierre | 8 | Consolidación, análisis comparativo y recomendación de escalamiento. | Informe técnico, tabla de resultados y decisión argumentada. |

A3. Organización del equipo de trabajo, funciones y cadena de responsabilidad

La ejecución de la etapa de validación práctica requiere de la instauración de una estructura mínima de gobernanza operativa, toda vez que, a pesar de tratarse de un ejercicio de alcance delimitado, la carencia de liderazgos formalmente constituidos suele derivar en omisiones dentro del

registro de información, desarticulación de los procesos logísticos y una toma de decisiones fundamentada en apreciaciones subjetivas más que en evidencias técnicas. En consecuencia, resulta imperativo que la organización proceda al nombramiento oficial de un coordinador del pilotaje, un supervisor de seguridad y salud en el trabajo, un gestor de soporte logístico y mantenimiento, además de una cuadrilla de operarios debidamente calificados, de tal manera que cada integrante posea claridad absoluta sobre sus funciones, sus fronteras de intervención, los protocolos para la comunicación de novedades y la frecuencia con la que deben emitir sus informes.

En relación con lo anterior, la cadena de mando y responsabilidad debe caracterizarse por ser lineal y de fácil comprensión, de modo que el coordinador del pilotaje asuma la facultad de autorizar el inicio de las actividades, validar las parcelas de estudio, ajustar el cronograma de trabajo y refrendar los reportes de periodicidad semanal. Por su parte, el responsable de SST tiene la obligación de fiscalizar que las faenas se desarrollen bajo condiciones de riesgo controlado, supervisar las instrucciones preoperacionales, asegurar el uso correcto de los elementos de protección personal y gestionar cualquier eventualidad o incidente reportado durante la jornada. Paralelamente, el encargado de apoyo logístico deberá ejercer el control sobre el estado de los cargadores, la integridad de las baterías, la movilización interna de los equipos, las rutinas de limpieza y la provisión de componentes de recambio, garantizando así la continuidad de la prueba.

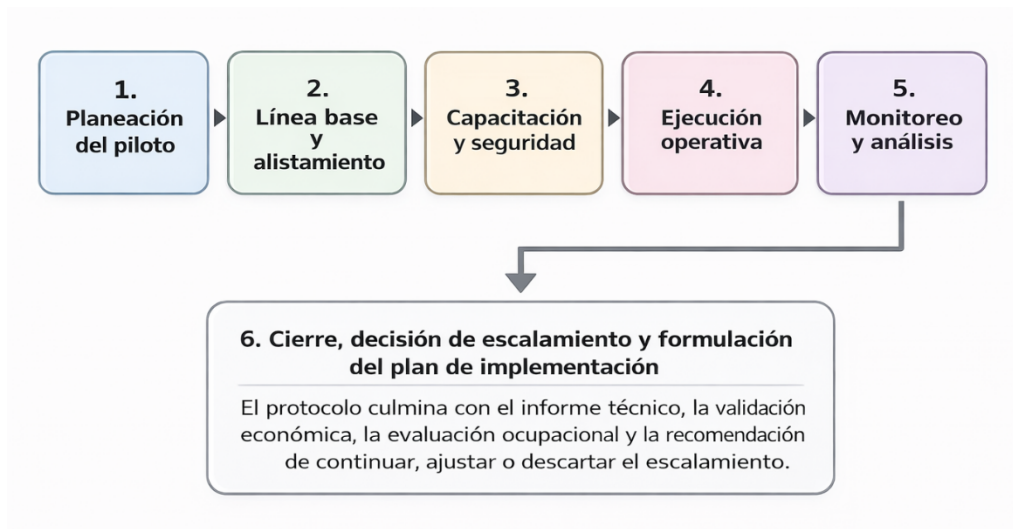
Por otro lado, los operarios seleccionados son los encargados de llevar a cabo la labor en el campo, cumpliendo con el diligenciamiento de los instrumentos de captura de datos bajo acompañamiento técnico y notificando de forma inmediata cualquier anomalía observada en el funcionamiento de la maquinaria. De ahí que, cuando sea necesaria la intervención o el soporte técnico por parte del proveedor externo, tal interacción deba ser canalizada

estrictamente a través de la figura del coordinador, con el propósito de salvaguardar la integridad del proceso de toma de decisiones y evitar la fragmentación de la memoria documental del estudio. Este esquema de gobernanza asegura que la transición tecnológica en Palmas del Cesar S.A. se ejecute bajo un marco de orden administrativo que maximice la trazabilidad de los hallazgos y la seguridad de todos los participantes.

| Rol | Responsabilidades principales | Evidencia documental asociada |
|--|--|--|
| Coordinador del piloto | Aprobar el plan de trabajo, asignar recursos, validar lotes, revisar indicadores y emitir recomendación final. | Acta de inicio, cronograma firmado, reportes semanales, informe de cierre. |
| Responsable SST | Verificar EPP, inducción, pausas, control de riesgos y reporte de incidentes. | Lista de asistencia, checklist preoperacional, reporte de incidentes. |
| Apoyo logístico y mantenimiento | Controlar inventario, cargadores, repuestos menores, limpieza y estado de baterías. | Bitácora de carga, inventario, formato de mantenimiento básico. |
| Operario líder | Guiar la cuadrilla, confirmar asignación del lote y apoyar la calidad del registro diario. | Formato de jornada, reporte de incidencias y evidencia fotográfica. |
| Operarios de prueba | Ejecutar el deshierbe, informar fatiga, registrar observaciones y participar en retroalimentación. | Registro diario y formato semanal de percepción. |
| Apoyo técnico del proveedor | Atender dudas técnicas, calibración inicial y análisis de fallas recurrentes. | Acta de asistencia técnica y conceptos técnicos. |

A4. Recursos requeridos, criterios de alistamiento y diseño logístico básico

Con el fin de asegurar que la validación técnica no se vea comprometida por factores externos a la tecnología, la organización deberá garantizar un alistamiento de carácter integral antes de proceder al inicio de las faenas, lo cual conlleva la disposición del inventario de guadañas eléctricas estipulado para el pilotaje, la provisión de acumuladores suficientes para otorgar continuidad a la labor, sistemas de carga compatibles y espacios de reabastecimiento energético protegidos de la saturación hídrica.



En este sentido, resulta imperativo contar con al menos una batería adicional por cada unidad de equipo, toda vez que la objetividad del estudio se perdería si las interrupciones en la jornada no obedecen al rendimiento real de la maquinaria, sino a un dimensionamiento logístico deficitario por parte de la empresa, de ahí que el almacenamiento de estos componentes deba realizarse bajo estrictas condiciones de seguridad, evitando la incidencia solar directa, los impactos mecánicos y la cercanía con materiales de alta combustión.

En relación con lo anterior, el proceso de preparación abarca también la estructuración de un flujo interno de activos debidamente organizado, por lo cual cada herramienta, batería, cargador y arnés de sujeción deberá ser identificado mediante una codificación única que facilite la trazabilidad ante eventuales fallos operativos o registros de autonomía atípicos. De igual manera, se sugiere la instauración de un centro único de recepción y despacho diario, donde el encargado de logística supervise la integridad física de los implementos, verifique los niveles de carga y centralice la información recolectada durante el turno, puesto que, en entornos de gran extensión geográfica como las plantaciones de palma, la dispersión de los recursos tiende a invisibilizar anomalías recurrentes. Por consiguiente, la concentración del control administrativo mejora de forma sustancial la calidad del diagnóstico y previene el deterioro de los equipos por falta de documentación oportuna.

Por otro lado, la logística fundamental del pilotaje debe articularse a través de tres circuitos de funcionamiento simultáneo, de los cuales el primero corresponde al circuito operativo, enfocado en el desplazamiento del personal y la maquinaria hacia las parcelas de trabajo, mientras que el segundo se define como el circuito energético, encargado de la rotación, movilización y recarga de los acumuladores.

El tercer eje lo constituye el circuito documental, cuya función es garantizar que cada jornada concluya con el diligenciamiento riguroso de los instrumentos de captura, el registro de evidencias gráficas y la síntesis de las observaciones de campo, toda vez que la falla en cualquiera de estos sistemas distorsionaría la interpretación final de los resultados. De este modo, si se presenta una deficiencia en la gestión del intercambio de baterías, esta podría interpretarse erróneamente como una baja productividad de la guadaña, cuando el problema reside realmente en la logística de apoyo, por lo cual el protocolo asume una visión sistémica que integra el uso del equipo con su entorno operativo.

| Recurso | Cantidad mínima sugerida | Condición requerida antes del inicio |
|-----------------------------------|-------------------------------------|---|
| Guadañas eléctricas | 2 a 3 unidades | Prueba funcional aprobada, código visible e instructivo disponible. |
| Baterías | 2 por equipo como mínimo | Ciclos de carga verificados y registro individual de identificación. |
| Cargadores | 1 por batería o esquema equivalente | Revisión de cableado, enchufes y protección del punto de carga. |
| EPP | 1 dotación completa por operario | Casco, gafas, guantes, protección auditiva, botas y ropa de trabajo. |
| Formatos de registro | 1 paquete diario | Listos para diligenciamiento físico o digital con respaldo. |
| Kit de mantenimiento menor | 1 kit central | Llaves, cepillo de limpieza, paños, lubricantes permitidos y repuestos menores. |
| Punto de carga | 1 estación controlada | Área seca, ventilada, señalizada y con acceso restringido. |

A5. Selección de lotes, operarios y levantamiento de la línea base comparativa

La determinación de las parcelas de estudio deberá fundamentarse en parámetros de representatividad técnica, evitando la elección de terrenos por simple facilidad de acceso, por lo cual se sugiere la designación de dos o tres lotes que exhiban variaciones moderadas en cuanto a la espesura de la capa vegetal, la inclinación del terreno y la complejidad de las maniobras, asegurando que estos escenarios reflejen las circunstancias habituales de la

operación corporativa. En este sentido, resulta aconsejable omitir el uso de parcelas con condiciones de extrema dificultad durante el ciclo inicial del pilotaje, toda vez que una exigencia desmedida desde el arranque podría invisibilizar el proceso natural de acomodación operativa y entorpecer la lectura de los hallazgos, no obstante, es imperativo que al menos una de las unidades de análisis represente un nivel de demanda media-alta, facilitando así la identificación del límite en el cual la tecnología eléctrica conserva un rendimiento funcional aceptable ante el incremento de la carga laboral.

En lo concerniente al personal técnico, la selección debe recaer en trabajadores que acrediten trayectoria previa en el manejo de guadañas, cuenten con la aptitud médica certificada para labores de campo y manifiesten disposición para integrarse a los procesos de captura de información y retroalimentación constante. De ahí que no resulte pertinente elegir exclusivamente a los operarios de mayor productividad histórica, puesto que tal criterio introduciría sesgos en la interpretación de los datos, siendo preferible la conformación de un grupo compacto, estable y dotado de un operario líder que actúe como eje de referencia para la cuadrilla. Bajo esta perspectiva, antes de la puesta en marcha, cada integrante del equipo deberá recibir instrucción detallada sobre el propósito de la validación, las normativas de seguridad industrial, la metodología de registro y la ruta jerárquica para la notificación de anomalías, averías o interrupciones en el servicio.

La construcción de la línea base comparativa se define como uno de los ejes de mayor sensibilidad dentro de la estructura del protocolo, toda vez que, previo al despliegue de los equipos eléctricos, la organización tiene la obligación de documentar con rigor el comportamiento funcional del sistema de combustión bajo circunstancias de trabajo análogas. Dicho referente debe integrar indicadores tales como el tiempo efectivo de operación, la frecuencia de las pausas para el reabastecimiento de carburantes, el rendimiento por jornada, la percepción subjetiva de vibración y ruido, las incidencias de orden

mecánico y los costos asociados al sostenimiento preventivo básico. En el supuesto de que la entidad no posea registros históricos con la homogeneidad requerida, será mandatorio ejecutar al menos una semana de observación estandarizada, puesto que, sin una base de comparación mínimamente sólida, cualquier beneficio o limitación detectada durante el pilotaje carecería de la fuerza metodológica necesaria para sustentar una decisión empresarial de alto impacto.

Por consiguiente, la articulación entre la selección rigurosa de los terrenos, la calificación del personal y la solidez de la línea base garantiza que la transición tecnológica en Palmas del Cesar S.A. no se fundamente en presunciones, sino en un ejercicio de contraste técnico de alta fidelidad. De este modo, el protocolo asegura que la valoración de la alternativa eléctrica se realice bajo un marco de transparencia operativa que permite ponderar la eficiencia mecánica frente al bienestar humano y la responsabilidad ecológica, transformando la fase piloto en un insumo estratégico para la modernización de las prácticas de mantenimiento en el sector palmicultor.

| Variable de línea base | Fuente sugerida | Frecuencia de registro | Uso dentro del análisis |
|--|------------------------|-------------------------------|---|
| Tiempo efectivo de deshierbe | Bitácora diaria | Cada jornada | Comparar continuidad y productividad. |
| Interrupciones por combustible o ajuste | Observación directa | Cada jornada | Identificar tiempos muertos del sistema actual. |
| Cobertura estimada por jornada | Supervisor de campo | Cada jornada | Calcular rendimiento operativo. |

| | | | |
|--|-----------------------------|------------------|------------------------------------|
| Consumo de combustible | Registro de abastecimiento | Diario o semanal | Estimar costo actual de operación. |
| Fatiga y comodidad del operario | Formato breve de percepción | Semanal | Contrastar componente ocupacional. |
| Incidencias mecánicas | Reporte técnico | Cuando ocurra | Comparar confiabilidad operativa. |

A6. Secuencia operativa detallada para la ejecución diaria del piloto

La operatividad cotidiana del proyecto de validación debe registrarse por una secuencia estandarizada, toda vez que la uniformidad en los procedimientos garantiza la comparabilidad de los registros obtenidos, por lo cual la jornada se inaugurará con una inspección preoperacional exhaustiva de cada unidad de guadaña, acumulador y componente periférico. En esta etapa inicial, se procederá a la verificación de la integridad física de la maquinaria, constatando la inexistencia de fracturas en las estructuras, el ajuste preciso del mecanismo de corte, la higiene del equipo y el porcentaje de energía disponible, así como la solidez del arnés de sujeción.

Bajo ninguna circunstancia se autorizará el desplazamiento hacia las parcelas si el personal porta baterías sin la debida codificación, herramientas sin revisión previa o información imprecisa sobre el área de intervención, debiendo concluir esta fase con una instrucción de seguridad por parte del responsable de SST, quien enfatizará en los protocolos de suspensión de labores ante fenómenos climáticos, anomalías térmicas en los equipos o signos de fatiga en el trabajador.

El segundo segmento del ciclo diario se define como el inicio controlado de las faenas en el campo, momento en el cual se consignará con exactitud la hora de apertura, la identificación del lote, el operario asignado y el estado inicial de la fuente de energía bajo las circunstancias ambientales del entorno, de tal manera que, durante la ejecución del mantenimiento, el equipo de trabajo tenga la obligación de documentar cada reemplazo de batería, cualquier interrupción que exceda los cinco minutos y toda apreciación técnica sobre la potencia efectiva, la ergonomía de uso y los niveles de vibración percibidos.

Con el propósito de no entorpecer la labor del personal mediante el diligenciamiento de formularios complejos, el operario líder o el personal de soporte técnico asumirá la responsabilidad de consolidar la información a partir de anotaciones sucintas tomadas en tiempo real, evitando así que el agotamiento al cierre de la jornada derive en omisiones o imprecisiones documentales que afecten la calidad del análisis.

Por su parte, el tercer momento corresponde a la fase de supervisión intermedia, donde el encargado del pilotaje realizará un monitoreo sobre el rendimiento de la maquinaria, la estabilidad química de los acumuladores, el bienestar físico del personal y el cumplimiento riguroso de los periodos de hidratación y descanso, permitiendo la corrección oportuna de cualquier desviación metodológica. En el supuesto de detectarse una disminución imprevista en la autonomía, elevación excesiva de la temperatura en los componentes o dificultades persistentes en la capacidad de corte, se procederá a la activación inmediata de los protocolos de contingencia, de tal suerte que la determinación de ajustar la planificación diaria o suspender la actividad se comprenda como un ejercicio de responsabilidad técnica y no como un detrimento de los objetivos del estudio, asegurando que la validación se desarrolle bajo estándares de alta seguridad.

Finalmente, el cuarto momento se sitúa en el cierre de las actividades, etapa en la cual, tras el retorno desde los lotes de cultivo, cada implemento será sometido a un proceso de higiene y revisión técnica antes de su entrega en el centro de control unificado, procediéndose al registro del total de baterías empleadas, el tiempo de labor efectiva y las novedades operativas presentadas. Acto seguido, el área de apoyo logístico dará inicio a los ciclos de reabastecimiento energético, documentando con precisión los tiempos de conexión y finalización de carga por cada acumulador, mientras que el coordinador de la investigación tendrá el deber de fiscalizar la integridad de la información recolectada de forma diaria. De este modo, la sistematización inmediata de los eventos previene la pérdida de memoria documental y garantiza que la recomendación estratégica de Palmas del Cesar S.A. se fundamente en una base de datos transparente, coherente y protegida contra interpretaciones sesgadas.

A7. Gestión de baterías, recarga, trazabilidad energética y mantenimiento básico

El éxito operativo de la etapa de validación se encuentra condicionado, de manera sustancial, a la administración rigurosa de las unidades de almacenamiento energético, toda vez que cada acumulador deberá poseer un código de identificación único, un registro detallado de los ciclos de uso completados durante el pilotaje y una bitácora de su comportamiento funcional, por lo cual, el centro de reabastecimiento tendrá que localizarse en una zona caracterizada por la ausencia de humedad, una ventilación adecuada y una restricción de acceso al personal no autorizado.

En este sentido, resulta imperativo evitar la carga de baterías sobre superficies precarias o en proximidad a materiales de alta combustión, debiendo efectuarse dicho proceso siempre bajo la tutela del encargado logístico, quien establecerá un orden de prelación para la conexión de los

equipos, priorizando aquellos con menores niveles de autonomía detectada o los que resulten mandatorios para la jornada subsiguiente. En el supuesto de que un componente exhiba elevación térmica atípica, deformaciones físicas, emanación de olores inusuales o una disminución abrupta de su capacidad, se procederá a su retiro inmediato de la operación, consignándose como una novedad técnica de alta prioridad hasta que se obtenga un dictamen especializado por parte del fabricante o del departamento de mantenimiento industrial.

En lo relativo al sostenimiento preventivo de carácter básico, las herramientas electrificadas deberán someterse a una higienización exhaustiva al concluir cada turno, retirando con cuidado los restos de material vegetal presentes en los mecanismos de corte, la estructura externa y las rejillas de refrigeración, de tal suerte que no se persigue el desensamble integral del equipo, sino la preservación de su estado óptimo para prevenir desgastes acelerados por obstrucción.

De igual manera, se verificará los sistemas de anclaje, la funcionalidad de los mandos de accionamiento, el estado de las conexiones eléctricas y la solidez de las cubiertas de protección, procedimiento que deberá quedar sintetizado en una lista de chequeo de rápida ejecución, puesto que la falta de sistematización en el mantenimiento menor suele derivar en una aplicación heterogénea que compromete la fidelidad de los datos del pilotaje y la durabilidad de los activos.

Por otro lado, la trazabilidad de los flujos de energía adquiere una importancia estratégica fundamental, debido a que, a pesar de que la investigación no se centre en una telemetría eléctrica de alta sofisticación, sí tiene la obligación de documentar la lógica de rotación de las baterías y los lapsos temporales requeridos para su recuperación total, permitiendo así que, al cierre del ejercicio, la organización pueda estimar la viabilidad logística de

la propuesta, la cantidad real de acumuladores de reserva necesarios y el impacto financiero de una posible expansión. Bajo esta óptica de gestión corporativa, una tecnología puede demostrar una eficiencia técnica sobresaliente en la parcela de cultivo, pero resultar inviable si la infraestructura de soporte no garantiza la fluidez que la operación demanda, es por esto que el análisis debe concebir a la herramienta, la batería, el sistema de carga y la administración del punto de abastecimiento como un ecosistema único e indivisible, asegurando que la transición tecnológica en Palmas del Cesar S.A. se fundamente en una visión sistémica de la productividad y la sostenibilidad.

| Control | Pregunta de verificación | Responsable | Frecuencia |
|----------------------------------|--|------------------|---------------|
| Inspección de batería | ¿Presenta fisuras, calentamiento anormal, golpes o pérdida abrupta de autonomía? | Apoyo logístico | Diaria |
| Registro de carga | ¿Se anotó hora de conexión, hora de finalización y código de batería? | Apoyo logístico | Diaria |
| Limpieza del equipo | ¿Se retiraron residuos vegetales y se verificó el estado general? | Operario / apoyo | Diaria |
| Control de repuestos menores | ¿Se revisó disponibilidad de hilo, cabezal, fijaciones y accesorios? | Apoyo logístico | Semanal |
| Concepto sobre fallas reiteradas | ¿Se escaló al proveedor o al área técnica cuando la novedad se repite? | Coordinador | Según novedad |

A8. Sistema de registro, variables de seguimiento e indicadores de evaluación

El sistema de captura de información se ha estructurado mediante una articulación equilibrada entre variables de orden cuantitativo y cualitativo, toda vez que la fidelidad del diagnóstico depende de la integración de magnitudes medibles y percepciones operativas, por lo cual, dentro del grupo de indicadores cuantitativos, se priorizará el registro del tiempo efectivo de labor, la frecuencia de las interrupciones, los ciclos de cambio de baterías, la cobertura de área intervenida, los tiempos de inactividad por logística, las incidencias mecánicas y los lapsos de reabastecimiento energético.

Paralelamente, en la dimensión cualitativa, resulta fundamental documentar la comodidad ergonómica, la facilidad de maniobra, la fatiga acumulada, el nivel de confianza del trabajador, así como la percepción subjetiva de ruido y vibración, de tal suerte que, si bien el protocolo no demanda el uso de instrumental de alta complejidad para cada factor, sí exige una rigurosidad absoluta en la consistencia de los datos, puesto que un conjunto delimitado de variables debidamente diligenciadas posee un valor estratégico superior al de un formulario extenso con omisiones documentales.

En relación con lo anterior, los indicadores del pilotaje deberán ser interpretados de forma sistémica y nunca de manera aislada, debido a que un incremento en el rendimiento por jornada podría carecer de valor institucional si se obtiene a expensas de fallas mecánicas recurrentes o de un alto grado de insatisfacción del personal, es por esto que la recomendación definitiva sobre la expansión del sistema tendrá que fundamentarse en cuatro ejes rectores: el desempeño técnico, la sostenibilidad operativa, la viabilidad económica y la aceptabilidad ocupacional. Cada una de estas dimensiones será objeto de una calificación en rangos de cumplimiento alto, medio o bajo, debiendo estar respaldada por evidencias concretas recolectadas en el

campo, lo cual garantiza que la entidad Palmas del Cesar S.A. evite la toma de decisiones fundamentadas en datos favorables pero aislados de la realidad operativa integral.

Por otro lado, se sugiere la instauración de un comité de revisión semanal de indicadores, integrado por el coordinador del proyecto, el supervisor de seguridad y salud en el trabajo, el encargado de logística y el operario líder, con el propósito de identificar tendencias de comportamiento, detectar cuellos de botella y aplicar ajustes de forma inmediata.

Bajo este esquema, si una variable crítica registra valores inferiores al nivel de aceptabilidad técnica durante dos periodos consecutivos, el protocolo mandata la activación de una auditoría extraordinaria antes de proceder con las actividades, asegurando así que el informe final no sea una simple recopilación de eventos desarticulados, sino el producto de un proceso de aprendizaje evolutivo. En consecuencia, esta dinámica de supervisión constante transforma la fase piloto en una herramienta de gestión dinámica, donde la información recolectada semana a semana permite perfeccionar las rutinas de mantenimiento y fortalecer la base argumentativa para la modernización tecnológica de la compañía.

| Indicador | Forma de cálculo o criterio | Interpretación esperada en el piloto |
|------------------------------|--|---|
| Continuidad operativa | Tiempo efectivo de labor / tiempo total programado. | Entre más alto sea, mejor estabilidad del sistema. |
| Rotación de baterías | Número de cambios por jornada y tiempo promedio de reposición. | Permite determinar suficiencia logística de respaldo. |

| | | |
|----------------------------------|---|--|
| Incidencia técnica | Número de fallas o novedades / jornadas ejecutadas. | Mide confiabilidad básica del equipo. |
| Costo operativo estimado | Costo diario proyectado / área o jornada intervenida. | Contrasta el modelo eléctrico con el sistema actual. |
| Aceptación del operario | Escala cualitativa semanal de 1 a 5. | Valora ergonomía, comodidad y facilidad de adaptación. |
| Disponibilidad del equipo | Equipos aptos al día siguiente / equipos programados. | Mide sostenibilidad operativa del piloto. |

A9. Gestión de riesgos, contingencias y criterios de suspensión temporal

Toda fase de validación técnica debe anticipar escenarios de contingencia, toda vez que los riesgos no se limitan únicamente al desempeño mecánico de la herramienta, sino que abarcan la integridad física del trabajador, la estabilidad de los acumuladores, las fluctuaciones climáticas, la calidad de la memoria documental y la continuidad misma del ejercicio, por lo cual, el protocolo mandata que cualquier incidente que vulnere la seguridad del operario tendrá prioridad absoluta por encima de la prosecución del ensayo.

En este sentido, la detección de una circunstancia potencialmente peligrosa en una batería o en la infraestructura de reabastecimiento obliga a la suspensión inmediata del uso del componente afectado hasta obtener una verificación especializada, puesto que la etapa piloto no puede actuar como justificante para la normalización de condiciones inseguras bajo la premisa de someter la tecnología a pruebas de resistencia extrema.

En relación con lo anterior, resulta imperativo establecer criterios de suspensión temporal fundamentados en el rigor metodológico, de tal suerte

que, si durante un ciclo semanal completo los registros exhiben vacíos documentales significativos, si se produce una rotación de parcelas sin control administrativo, si se mezclan operarios sin la debida trazabilidad o si las deficiencias logísticas impiden una interpretación fidedigna del rendimiento, el coordinador tendrá el deber de pausar la validación, corregir las desviaciones procedimentales y reiniciar la fase correspondiente. La solidez de una prueba técnica depende tanto de la calidad de la maquinaria como de la disciplina en su ejecución, toda vez que continuar un proceso carente de control solo deriva en la acumulación de datos de baja fiabilidad, lo cual podría inducir a la organización Palmas del Cesar S.A. a tomar decisiones erróneas en materia de inversión o descarte tecnológico.

Por otro lado, las contingencias de carácter operativo de mayor probabilidad incluyen fenómenos de pluviosidad intensa, saturación hídrica excesiva del suelo, indisponibilidad del punto de carga, averías mecánicas, mermas imprevistas en la autonomía energética, deterioro del sistema de corte o fatiga excesiva del personal de campo, de ahí que, para cada escenario, se deba definir una respuesta inmediata, un líder responsable y un protocolo de registro mínimo. De este modo, el instrumento traslada el enfoque desde la reacción improvisada hacia una gestión organizada del riesgo, suministrando a la empresa la estructura necesaria para evaluar innovaciones tecnológicas dentro de contextos productivos reales, garantizando que cada eventualidad sea tratada como un dato útil para el perfeccionamiento de la propuesta y no como un obstáculo para el progreso institucional.

| Riesgo o contingencia | Señal de activación | Respuesta inmediata | Decisión posterior |
|---|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Batería con sobrecalentamiento o deformación | Temperatura anormal, olor | Retirar de servicio, | Solicitar revisión técnica y no |

| | | | |
|---|--|--|---|
| | extraño o carcasa alterada. | aislar y reportar. | reutilizar sin concepto. |
| Falla recurrente del equipo | Dos o más jornadas con la misma novedad. | Sustituir equipo y registrar incidencia. | Analizar si corresponde a diseño, uso o mantenimiento. |
| Lluvia intensa o alta humedad | Condición climática insegura para el trabajo. | Pausar operación y proteger equipo. | Reprogramar jornada o cambiar frente de trabajo. |
| Registro documental incompleto | Formato con vacíos críticos o inconsistencias. | Detener cierre del día hasta completar la información. | Reentrenar responsables y reforzar control semanal. |
| Fatiga o molestia física relevante | Reporte del operario u observación de SST. | Suspender uso del equipo por ese operario y evaluar. | Ajustar arnés, pausas, rotación o continuidad del trabajador. |

A10. Criterios de aceptación, decisión de escalamiento y productos del cierre técnico

Al concluir el ciclo de validación, la organización deberá abstenerse de emitir dictámenes basados en la intuición o en una adhesión acrítica a los discursos de sostenibilidad, toda vez que el rigor del estudio exige una evaluación fundamentada, por lo cual se propone la aplicación de una matriz de decisión donde cada eje estratégico —desempeño técnico, estabilidad de la logística, comportamiento de los costos, aceptabilidad de los operarios y

coherencia con las metas ambientales— reciba una calificación debidamente argumentada. En este sentido, si al menos cuatro de estas cinco dimensiones alcanzan un nivel de cumplimiento alto o medio-alto, la empresa se encontraría en una posición técnica favorable para sugerir una segunda etapa de escalamiento supervisado. No obstante, si dos o más dimensiones se sitúan en un rango de desempeño bajo, la recomendación técnica deberá orientarse hacia la ejecución de ajustes procedimentales previos, la extensión del periodo de prueba o, en última instancia, la reconsideración de la idoneidad de la tecnología elegida, garantizando que el juicio estratégico se soporte en evidencia sistematizada y no en expectativas generales.

En relación con lo anterior, el cierre técnico de la investigación tendrá que materializarse en un informe final debidamente estructurado, el cual debe integrar cinco componentes esenciales: la descripción detallada del pilotaje ejecutado, el consolidado de los indicadores de gestión, el análisis de contraste frente a la línea base de combustión, la relación pormenorizada de las contingencias atendidas y la recomendación final de la coordinación.

Asimismo, se aconseja la incorporación de un anexo documental que incluya el registro fotográfico de las faenas, el inventario de integridad de los equipos, la bitácora de ciclos de las baterías, las encuestas de percepción del personal y las anotaciones del supervisor de SST, de tal manera que este acervo de información permita a la entidad Palmas del Cesar S.A. conservar una memoria técnica institucional, evitando que en futuras fases de transición se deba reiniciar el proceso de aprendizaje logístico y ocupacional ya consolidado.

Bajo una óptica de mejora continua, es imperativo que el pilotaje no sea comprendido como una evaluación de rechazo o aprobación absoluta, sino como una etapa de maduración del conocimiento corporativo, puesto que, aun en el escenario donde la firma decida no proceder con una expansión

inmediata, los datos recolectados poseerán un alto valor estratégico para perfeccionar las fichas técnicas de compra, reestructurar la logística energética o demandar mayores estándares de calidad a los proveedores.

Por consiguiente, la determinación definitiva deberá manifestarse a través de uno de tres estados posibles: la continuación mediante un escalamiento parcial, la prosecución supeditada a ajustes operativos obligatorios o la decisión de no continuar por inviabilidad técnica temporal. Esta salida tricotómica resulta sustancialmente más realista que un enfoque binario, dotando a la organización de un marco de actuación prudente para la gestión de sus inversiones futuras en pro de una palmicultura más eficiente y segura.

| Dimensión | Nivel alto | Nivel medio | Nivel bajo |
|-----------------------------|--|---|---|
| Desempeño técnico | Buena continuidad, fallas esporádicas y corte aceptable en la mayoría de jornadas. | Rendimiento útil con ajustes logísticos o de configuración. | Baja continuidad o fallas que comprometen la operación. |
| Logística energética | Rotación de baterías suficiente y recarga ordenada. | Requiere ampliar respaldo o ajustar tiempos. | La recarga limita de forma crítica la jornada. |
| Componente económico | Costo proyectado competitivo o defendible a mediano plazo. | Costo aceptable con inversiones adicionales moderadas. | Costo difícil de sostener frente al sistema actual. |

| | | | |
|-------------------------------|--|---|--|
| Aceptación ocupacional | Operarios reportan buena adaptación y menor molestia. | Adaptación parcial con observaciones menores. | Incomodidad alta o rechazo persistente. |
| Coherencia ambiental | La operación evita emisiones directas y mejora la gestión del proceso. | Mejora parcial sujeta a ajustes. | No se evidencia ventaja operativa clara frente al contexto evaluado. |

A11. Formatos mínimos que deben quedar diligenciados durante la fase piloto

La implementación del protocolo requiere, de manera imperativa, el diligenciamiento de al menos cinco instrumentos de captura de información, los cuales comprenden la lista de chequeo preoperacional, el registro cotidiano de la jornada, la bitácora de administración de acumuladores, el formulario de percepción semanal del trabajador y la matriz de reporte de contingencias. En este sentido, tales documentos no deben interpretarse como simples formalismos de carácter administrativo, sino que se constituyen como el soporte técnico indispensable que transforma un ejercicio informal de campo en una validación científica con el rigor necesario para orientar inversiones corporativas, de tal suerte que cada formulario deberá consignar la fecha, el nombre del líder responsable y la codificación única de la maquinaria o batería involucrada. Bajo esta lógica de trazabilidad, se sugiere que la organización conserve un respaldo digitalizado de cada registro al finalizar la semana, garantizando la integridad de la memoria técnica del proyecto.

Con el propósito de optimizar las labores de supervisión y análisis, se aconseja que la totalidad de los instrumentos compartan un encabezado estandarizado que integre los datos del proyecto, la identificación de la

parcela, el responsable técnico y la versión vigente del documento, de modo que se prevenga la coexistencia de formatos incompatibles durante la fase de consolidación del informe final. Asimismo, resulta conveniente la adopción de una convención visual simplificada, basada en estados o colores, para distinguir con agilidad entre los equipos plenamente operativos, aquellos que se encuentran bajo observación técnica y los que han sido retirados del servicio por avería o mantenimiento. Esta normalización de la documentación no solo minimiza los lapsos requeridos para el procesamiento de los hallazgos, sino que incrementa de forma notable la claridad y la legibilidad de los resultados ante la alta gerencia o los comités de decisión estratégica de Palmas del Cesar S.A.

Por consiguiente, la disciplina en el manejo documental actúa como el eje de seguridad para el éxito del pilotaje, toda vez que la calidad de la recomendación técnica final dependerá directamente de la precisión con la que se hayan capturado los eventos en el terreno, de ahí que el protocolo priorice la coherencia informativa por encima de la complejidad de los formularios. De este modo, la empresa se dota de una ruta de actuación protegida contra la ambigüedad, donde cada dato registrado se convierte en un insumo verificable para sustentar la transición hacia una palmicultura más sostenible, segura y eficiente desde el punto de vista mecánico y humano.

| Formato | Contenido mínimo | Responsable de diligenciamiento | Momento de uso |
|---------------------------------|--|--|-------------------------|
| Checklist preoperacional | Estado del equipo, batería, EPP y observaciones iniciales. | Operario y apoyo SST | Antes de salir a campo. |

| | | | |
|--------------------------------------|--|-------------------------|---|
| Registro diario de jornada | Hora de inicio, cambios de batería, interrupciones, incidencias y cierre. | Operario líder / apoyo | Durante y al final de la jornada. |
| Bitácora de baterías y carga | Código, hora de conexión, hora de finalización y novedad. | Apoyo logístico | Al cierre de la jornada y durante la recarga. |
| Formato semanal de percepción | Comodidad, maniobrabilidad, fatiga, vibración, ruido percibido y adaptación. | Operarios participantes | Al finalizar cada semana. |
| Matriz de incidencias | Descripción, causa probable, respuesta aplicada y decisión. | Coordinador del piloto | Cada vez que ocurra una novedad crítica. |

El presente protocolo se incorpora como anexo técnico de carácter propositivo para fortalecer la viabilidad metodológica y operativa del documento. En consecuencia, debe ser leído como una guía detallada para una fase piloto futura y no como evidencia de que dicha fase ya fue ejecutada por la empresa o por el autor del proyecto. Su valor radica en traducir la propuesta académica en una ruta concreta de validación, con pasos, responsables, formatos, controles, indicadores y criterios de decisión. Así, el documento no se limita a sugerir una transición tecnológica, sino que deja formulado el procedimiento mediante el cual dicha transición podría evaluarse de forma seria, ordenada y defendible ante la organización.

Anexo B. Formato sugerido de monitoreo operativo y ocupacional

| Fecha | Lote | Equipo | Ruido dB | Autonomía / tiempo efectivo | Observaciones / incidencias |
|-------|-------|--------|----------|-----------------------------|-----------------------------|
| _____ | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | _____ | _____ | _____ | _____ |

Anexo C. Presupuesto estimado para la fase piloto

| Rubro | Valor estimado (COP) | Justificación | Observación | Total |
|-------------------------------------|---------------------------------|--|--------------------|----------------------|
| 3 guadañas eléctricas profesionales | \$ 10.500.000 | Equipo base para prueba piloto | Compra estimada | \$ 10.500.000 |
| 6 baterías de respaldo | \$ 8.400.000 | Rotación para continuidad operativa | Compra estimada | \$ 8.400.000 |
| 3 cargadores rápidos | \$ 1.800.000 | Recarga simultánea | Compra estimada | \$ 1.800.000 |
| Capacitación y protocolo de uso | \$ 1.200.000 | Entrenamiento inicial al personal | Servicio | \$ 1.200.000 |
| Monitoreo de ruido y seguimiento | \$ 2.800.000 | Sonómetro, registro y control | Servicio/equipo | \$ 2.800.000 |
| EPP complementario y señalización | \$ 1.100.000 | Refuerzo preventivo | Compra | \$ 1.100.000 |
| Mantenimiento inicial y repuestos | \$ 900.000 | Reposición menor / contingencia técnica | Reserva | \$ 900.000 |
| Imprevistos (10 %) | \$ 2.670.000 | Margen para ajuste del piloto | Reserva | \$ 2.670.000 |
| TOTAL | \$ 29.370.000 | Presupuesto estimado para fase piloto | Referencia | \$ 29.370.000 |