



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales

Diagnóstico técnico-operacional y propuesta de mejora del desempeño en una empresa contratista de cosecha forestal mecanizada en la Región del Biobío

Patrocinante: Sr. Alfredo Aguilera

Trabajo de Tesina presentado como parte
de los requisitos para optar al Título de
Ingeniero(a) Forestal

VICTOR SAMUEL BASTIAS FUENZALIDA

VALDIVIA

2026

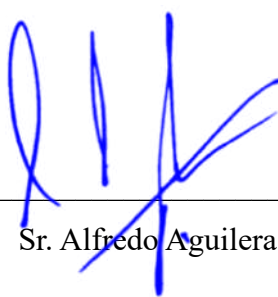
	Índice de materias	Página
ii	CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN	iii
iii	AGRADECIMIENTOS	iv
iv	DEDICATORIA	v
v	RESUMEN	vi
vi	ABSTRACT	vii
1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Fundamentos de la productividad en cosecha forestal mecanizada	2
1.2	Disponibilidad mecánica y estrategias de mantenimiento	3
1.3	Eficiencia en el consumo de combustible: el indicador clave	4
1.4	Panorama de la accidentabilidad laboral en el sector forestal	4
1.5	Gestión estratégica mediante indicadores KPI	5
1.6	Objetivos	6
1.6.1	Objetivo general	6
1.6.2	Objetivo específico	6
2	MÉTODOS	7
2.1	Área de estudio	7
2.2	Maquinaria forestal utilizada en el estudio	7
2.3	Período de análisis	7
2.4	Tipo de investigación	7
2.5	Recolección de información	8
2.6	Variables analizadas	8
2.7	Análisis estadístico	9
3	RESULTADOS	10
3.1	Producción operacional	10
3.1.1	Producción mensual y brecha operacional	10
3.1.2	Análisis de productividad por equipo	10
3.1.3	Comportamiento de la variabilidad mensual	11
3.2	Consumo de combustible	11
3.2.1	Consumo mensual y específico	11
3.2.2	Comparación con rangos de referencia	12
3.2.3	Relación entre producción y consumo	12
3.2.4	Eficiencia energética como indicador integrador	12
3.3	Accidentabilidad laboral	13
3.3.1	Tasa de accidentabilidad	13
3.3.2	Análisis de causas	13
3.3.3	Comparación con estándares sectoriales	14
3.3.4	Resumen integrado de hallazgos	14
4	DISCUSIÓN	15
4.1	Interpretación de las brechas operacionales	15
4.2	El problema del mantenimiento reactivo	15
4.3	Ineficiencia energética y sus implicancias	16
4.4	Benchmarking internacional	16
4.5	Implicancias para la gestión	17
4.6	Propuesta de implementación y mejoramiento operacional	17
4.6.1	Implementación de indicadores KPI	17
4.6.2	Programa de mantenimiento preventivo	19
4.6.3	Fortalecimiento organizacional	20
4.6.4	Seguridad laboral	20

5	CONCLUSIONES	22
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

Comité de Titulación	Nota
Patrocinante: Sr. Alfredo Aguilera León	6,5
Informante: Sr. Mario Meneses Villanueva	6,6
Informante: Sr. Felipe Leiva Morey	6,4

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el Reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.



Sr. Alfredo Aguilera

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios y a la Santísima Virgen por haberme guiado y permitido culminar este anhelado objetivo, otorgándome la fortaleza, la salud y la perseverancia necesarias para alcanzar esta importante meta.

Expreso también mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible este logro, especialmente considerando que este desafío académico fue emprendido en una etapa avanzada de mi vida.

Manifiesto un especial reconocimiento a mi profesor guía, Sr. Alfredo Aguilera, por su permanente disposición, paciencia, dedicación y valiosas orientaciones durante el desarrollo de este trabajo.

Agradezco igualmente al Sr. Mario Meneses, quien desde el primer día nos motivó a emprender este camino con entusiasmo y convicción, alentándonos a perseverar hasta alcanzar la meta propuesta.

Mi profundo reconocimiento al Sr. Javier Vidal, forestal de vocación y de corazón, por reunir nuevamente a la generación de Ingeniería Forestal de 1974 y por desempeñar un rol fundamental como articulador entre las distintas instancias que hicieron posible concretar este esperado sueño profesional.

Expreso también mi especial gratitud a mi hija Francisca Bastias, por su invaluable apoyo durante la elaboración de esta tesis, tanto en el desarrollo de su contenido como en la incorporación y aplicación de las herramientas tecnológicas que facilitaron su realización.

Finalmente, agradezco a la vida la oportunidad de concretar este sueño largamente postergado y espero seguir compartiendo por muchos años más la alegría de este logro junto a mi familia y a todos mis seres queridos.

DEDICATORIA

A la memoria de mis padres, de mis suegros y de mi cuñado, quienes partieron antes de ver concretado este anhelado sueño y cuyo recuerdo permanece siempre presente en mi vida.

A mi amada esposa, Lilia Jara, por acompañarme incondicionalmente durante más de cincuenta años. Gracias por creer en mí incluso cuando este sueño parecía lejano, manteniendo viva la llama del Ingeniero Forestal, por alentarme a no renunciar y por entregarme siempre la fortaleza y el amor necesarios para perseverar hasta alcanzar esta meta.

A mis hijos, quienes merecen compartir la satisfacción de este anhelado final y a quienes agradezco profundamente el cariño y el amor que me han entregado de manera permanente.

A mi querida y única hermana, María Raquel, por estar siempre a mi lado, por creer en mí y por demostrarme que, con la ayuda de Dios, ningún sueño es imposible

A mis compañeros de la generación de Ingeniería Forestal 1974, con quienes compartí el inicio de este camino y, muchos años después, la satisfacción de reencontrarnos y concluir junto a algunos una historia que permanecía inconclusa.

Finalmente, dedico este trabajo a todas aquellas personas que, sin importar la edad o el tiempo transcurrido, mantienen viva la esperanza de cumplir sus metas. Este logro es la prueba de que la perseverancia, la fe y la convicción pueden convertir un sueño postergado en una hermosa realidad.

"Los sueños no tienen fecha de vencimiento cuando la perseverancia y la esperanza acompañan el camino."

RESUMEN

El sector forestal chileno depende en gran medida de empresas contratistas para ejecutar las operaciones de cosecha mecanizada, especialmente en la Región del Biobío. Sin embargo, muchas de estas organizaciones presentan debilidades estructurales en planificación, mantenimiento y control de gestión, lo que genera pérdidas de productividad, sobrecostos y elevados índices de accidentabilidad. El presente estudio tuvo como objetivo realizar un diagnóstico técnico-operacional de una empresa contratista de cosecha forestal mecanizada y semi mecanizada en la Región del Biobío, con base en cuatro meses de registros operacionales (agosto a noviembre). La metodología correspondió a una investigación descriptiva de carácter aplicado, basada en la recopilación de datos de producción, consumo de combustible y accidentabilidad laboral. Los resultados evidenciaron una pérdida productiva promedio del 17,1% (1.995 m³/mes), un consumo específico de combustible de 3,22 L/m³ (superior en aproximadamente un 29% al límite superior del rango de referencia de 1,8-2,5 L/m³) y una tasa de accidentabilidad acumulada del período del 23,8% (equivalente a 5 accidentes en 21 trabajadores en 4 meses), muy por encima de los estándares sectoriales actuales. La discusión contrasta estos hallazgos con la literatura especializada, identificando como causa raíz la dependencia de un modelo de mantenimiento reactivo y la ausencia de sistemas formales de monitoreo. Se propone la implementación de un tablero de indicadores KPI y un programa de mantenimiento preventivo adaptado a los recursos limitados de una empresa pequeña/mediana. Se concluye que la incorporación de estas herramientas permitiría aumentar significativamente la eficiencia operacional, reducir costos y disminuir los riesgos laborales.

Palabras clave: cosecha forestal mecanizada, productividad, mantenimiento preventivo, accidentabilidad laboral.

ABSTRACT

The Chilean forest sector relies heavily on contractor companies to carry out mechanized harvesting operations, especially in the Biobío Region. However, many of these organizations present structural weaknesses in planning, maintenance, and management control, leading to productivity losses, cost overruns, and high accident rates. This study aimed to perform a technical-operational diagnosis of a mechanized and semi-mechanized forest harvesting contractor company in the Biobío Region, based on four months of operational records (August to November). The methodology corresponded to applied descriptive research, based on the collection of production, fuel consumption, and occupational accident data. The results evidenced an average productive loss of 17.1% (1,995 m³/month), a specific fuel consumption of 3.22 L/m³ (approximately 29% above the upper limit of the reference range of 1.8-2.5 L/m³), and an accumulated accident rate of 23.8% for the period (equivalent to 5 accidents in 21 workers over 4 months), well above current sectoral standards. The discussion contrasts these findings with specialized literature, identifying as root causes the dependence on a reactive maintenance model and the absence of formal monitoring systems. The implementation of a KPI dashboard and a preventive maintenance program adapted to the limited resources of a small/medium-sized company is proposed. It is concluded that the incorporation of these tools would significantly increase operational efficiency, reduce costs, and decrease occupational risks.

Keywords: mechanized forest harvesting, productivity, preventive maintenance, occupational accident rate.

1. INTRODUCCIÓN

El sector forestal chileno representa una de las principales actividades económicas del país, contribuyendo con aproximadamente el 2% del PIB nacional y generando más de 150 mil empleos directos e indirectos (INFOR 2020). La Región del Biobío concentra la mayor superficie plantada con especies de rápido crecimiento como *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*, constituyéndose en el principal polo de producción de madera, celulosa y tableros del país.

En este contexto, las operaciones de cosecha forestal mecanizada han reemplazado progresivamente a los sistemas tradicionales basados en trabajo manual y motosierras, permitiendo aumentar significativamente la productividad por unidad de tiempo y reducir los costos operacionales por metro cúbico producido (Santamaría 2010).

Sin embargo, gran parte de la cosecha forestal en Chile no es ejecutada directamente por las grandes empresas forestales (propietarias de la materia prima), sino por empresas contratistas especializadas. Estas empresas proveen maquinaria, operadores y supervisión a cambio de un pago por metro cúbico cosechado o por hora máquina trabajada.

De acuerdo con INFOR (2020), más del 70% de la cosecha mecanizada en la Región del Biobío es ejecutada por empresas contratistas de tamaño pequeño y mediano. Estas organizaciones enfrentan desafíos estructurales relacionados con:

- Alta rotación de personal operativo.
- Mantenimiento reactivo de maquinaria (reparar después de la falla, en lugar de prevenir).
- Ausencia de sistemas formales de control de gestión (indicadores KPI).
- Presión por reducir costos, lo que frecuentemente afecta la seguridad laboral.

La literatura especializada (FAO 2018) ha demostrado que la productividad en cosecha mecanizada depende directamente de tres factores: disponibilidad mecánica, eficiencia operacional de los operadores y planificación logística. No obstante, en la práctica, muchas empresas contratistas no miden estos factores sistemáticamente, lo que impide identificar oportunidades de mejora.

La empresa objeto de este estudio es una empresa contratista de servicios de cosecha forestal mecanizada y semi mecanizada que opera en la Región del Biobío. Durante el período evaluado (agosto a noviembre), la empresa presentó indicios de:

- Producción por debajo de los volúmenes comprometidos contractualmente.
- Frecuentes tiempos muertos por fallas mecánicas.

- Elevados consumos de combustible sin correlación con la producción.
- Altos índices de accidentabilidad laboral en comparación con referentes sectoriales.

Sin embargo, la empresa no cuenta con un sistema estructurado de monitoreo operacional, lo que impide cuantificar con precisión la magnitud de estas pérdidas ni identificar sus causas raíz.

El presente estudio se justifica por dos razones principales:

- i. Relevancia productiva: Mejorar la eficiencia en empresas contratistas impacta directamente en la competitividad del sector forestal regional.
- ii. Relevancia económica: Las pérdidas operacionales no detectadas generan sobre costos que finalmente se trasladan a los precios de la madera y derivados.

1.1 Fundamentos de la productividad en cosecha forestal mecanizada

La productividad en las operaciones forestales mecanizadas es un indicador fundamental que determina la viabilidad económica de un proyecto de cosecha. Se define comúnmente como el volumen de madera cosechada (m^3) por unidad de tiempo de máquina productiva (PMH: *Productive Machine Hour*). Según Santamaría (2010), para equipos cosechadores (*harvesters*) y procesadores que operan en plantaciones de *Pinus radiata*, los rendimientos típicos oscilan entre 25 y 40 m^3 /PMH. Sin embargo, este valor es altamente sensible a variables como el diámetro medio de los árboles, la pendiente del terreno, las condiciones climáticas y, crucialmente, la habilidad y el nivel de entrenamiento del operador.

La productividad en cosecha mecanizada está determinada por múltiples factores que trascienden las condiciones locales. En un estudio de benchmarking global publicado en 2024, Di Fulvio et al. (2024) documentaron que los sistemas mecanizados de cosecha forestal presentan una variabilidad significativa entre regiones, influenciada por el sistema de cosecha empleado, el nivel de mecanización, las condiciones del sitio y los marcos regulatorios locales. Este estudio comparó operaciones en siete regiones globales, estableciendo parámetros de referencia para productividad y costos que permiten a los gestores forestales identificar brechas de desempeño y oportunidades de mejora.

La brecha entre la productividad potencial (teórica) y la real es un problema recurrente en la industria. Esta diferencia se atribuye a la suma de tiempos improductivos o "tiempos muertos", que pueden clasificarse en tres grandes categorías :

- a. Tiempos Mecánicos: Asociados a fallas imprevistas de los equipos, mantenciones correctivas de emergencia y espera de repuestos.
- b. Tiempos Operacionales: Relacionados con la espera por camiones para el transporte de la madera, falta de frente de cosecha despejado o paralizaciones por lluvias extremas.

c. Tiempos Administrativos: Derivados de una supervisión deficiente, falta de coordinación con la empresa mandante o una planificación logística inadecuada.

En ausencia de un sistema de registro sistemático de estos tiempos (como los reportes horarios de operador), resulta imposible para una empresa contratista distinguir entre las pérdidas evitables y las inevitables. Sin datos, no se puede gestionar la mejora.

1.2 Disponibilidad mecánica y estrategias de mantenimiento

La disponibilidad mecánica es el pilar de la productividad en faenas mecanizadas. Se define como el porcentaje del tiempo total programado en que la máquina se encuentra operable, independientemente de que esté produciendo activamente. La fórmula estándar para su cálculo es:

$$\text{Disponibilidad (\%)} = (\text{Horas disponibles} / \text{Horas programadas}) \times 100$$

En este contexto, el modelo de gestión de mantenimiento es determinante. La literatura distingue claramente dos enfoques:

- **Mantenimiento Reactivo (Correctivo):** Consiste en reparar la maquinaria solo después de que ha ocurrido una falla. Este modelo, común en pequeñas contratistas, genera altos costos por horas no facturadas, daños colaterales y una alta probabilidad de incumplimiento de metas.
- **Mantenimiento Preventivo:** Implica intervenciones planificadas basadas en el tiempo de operación (horas máquina) para lubricar, ajustar o reemplazar componentes antes de que fallen.

La evolución de los sistemas de gestión de mantenimiento ha transitado desde el control episódico hacia el monitoreo permanente de parámetros operacionales, lo que permite detectar fallas tempranas y predecir cambios en la condición de los componentes antes de que ocurran detenciones. Sivakov et al. (2025) señalan que los principales fabricantes occidentales de maquinaria forestal ya incorporan soluciones técnicas para el monitoreo continuo del estado técnico y los indicadores de producción de sus equipos. Sin embargo, en condiciones reales de operación, las empresas de cosecha forestal suelen utilizar maquinaria de distintos fabricantes, lo que dificulta el aprovechamiento eficaz de la información disponible en los servidores de cada proveedor. Para superar esta limitación, los autores proponen la implementación de sistemas de gestión empresarial unificados basados en estándares ERP, que permitan integrar datos de diferentes fuentes y optimizar la planificación del mantenimiento. Diniz et al. (2024), en una investigación aplicada a Skidders, demostraron que la implementación de un sistema de mantenimiento de clase mundial (WCM) no solo aumentó la disponibilidad mecánica, sino que también redujo en un 47% el consumo de aceite hidráulico y disminuyó los costos de reparación en un 8%. Estos

resultados subrayan que la mantención no debe ser vista como un gasto, sino como una inversión estratégica.

1.3 Eficiencia en el consumo de combustible: el indicador clave

El consumo de combustible diésel representa uno de los costos variables más significativos en la cosecha forestal, explicando entre el 15% y el 25% del costo operacional total por metro cúbico (INFOR 2019). El indicador relevante para la gestión no es el consumo absoluto (litros/mes), sino el consumo específico, calculado como:

$$\text{Consumo específico (L/m}^3\text{)} = \text{Litros totales de diésel} / \text{m}^3 \text{ producidos}$$

Para operaciones de cosecha en Chile, Bravo y Silva (2019) establecen un rango de referencia esperado de 1,8 a 2,5 L/m³. Valores superiores a 3,0 L/m³ son una señal de alerta que sugiere ineficiencias operacionales graves. Las causas más comunes de un consumo específico elevado son los tiempos de ralentí prolongados (motor encendido sin producción), el mal ajuste de los sistemas hidráulicos de la maquinaria, las malas prácticas de operación (aceleraciones y frenados bruscos) y el uso de equipos con mantenimiento deficiente.

1.4 Panorama de la accidentabilidad laboral en el sector forestal

El trabajo forestal mecanizado presenta riesgos inherentes, como atrapamientos, proyección de astillas, vuelcos de equipos en terrenos con pendiente y fatiga por largas jornadas. La tasa de accidentabilidad se define como:

$$\text{Accidentabilidad (\%)} = (\text{N}^\circ \text{ de accidentes con lesión en el período} / \text{N}^\circ \text{ total de trabajadores expuestos en el período}) \times 100$$

Chile ha logrado avances significativos en la última década. Según datos recientes, la tasa de accidentabilidad en el sector forestal chileno se ha reducido a menos del 1% anual (Kahler 2024). Este logro se atribuye a la adopción masiva de certificaciones internacionales, la implementación de tecnología de seguridad de punta y una mayor colaboración gremial. Sin embargo, las pequeñas empresas contratistas suelen quedar rezagadas respecto a estos promedios nacionales debido a una menor inversión en supervisión y capacitación.

La magnitud del problema de accidentabilidad en el sector forestal no es exclusiva de Chile. Un estudio descriptivo realizado en Minas Gerais, Brasil, entre 2011 y 2017, analizó 7.124 Comunicaciones de Accidentes de Trabajo (CATs) del sector forestal. Los resultados indicaron que los principales agentes

causales fueron la manipulación de madera, las condiciones del terreno, las herramientas motorizadas y los vehículos. Las lesiones representaron el 93,9% de los registros, de los cuales el 49,5% correspondió a fracturas, afectando predominantemente a los miembros superiores e inferiores de los trabajadores (Patiño et al. 2023). Este hallazgo refuerza la necesidad de contar con protocolos de seguridad robustos y supervisión constante, especialmente en contextos de pequeñas contratistas donde los recursos para prevención son limitados.

1.5 Gestión estratégica mediante indicadores KPI

Frente a la complejidad de las operaciones modernas, la literatura especializada (López y Herrera 2021; Álvarez 2016) recomienda el uso de un tablero de control de indicadores (KPI). Para empresas de menor tamaño, se sugiere un conjunto reducido pero funcional que permita la toma de decisiones rápida (cuadro 1).

Cuadro 1. Tablero de Control Estratégico para Contratistas Forestales

Indicador Clave	Fórmula de Cálculo	Frecuencia	Criterio de Alarma (Acción Correctiva)
Productividad	$\frac{m^3}{\text{producidos/periodo}}$	Mensual	Desviación >10% vs. meta contractual
Consumo Específico	$\frac{\text{Litros diésel totales}}{m^3 \text{ producidos}}$	Mensual	> 2,8 L/m³ → Revisar prácticas de operación
Tasa de Accidentabilidad	$(N^{\circ} \text{ accidentados} / N^{\circ} \text{ trabajadores}) \times 100$	Mensual	> 15% → Reforzar capacitación y supervisión

La adopción de indicadores de desempeño debe enmarcarse en una comprensión más amplia de los factores que afectan la sostenibilidad de las operaciones forestales. Engler et al. (2024), en un análisis del impacto de las operaciones forestales en cuatro regiones biogeográficas europeas, identificaron que la gestión eficiente de los recursos y la implementación de sistemas de monitoreo son determinantes clave para el desarrollo futuro del sector. El estudio concluye que la integración de indicadores operacionales con métricas de sostenibilidad ambiental y social permite una toma de decisiones más informada y alineada con los estándares internacionales.

1.6. Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Realizar un diagnóstico técnico-operacional de una empresa contratista de cosecha forestal mecanizada y semi mecanizada en la Región del Biobío, con base en cuatro meses de registro operacional, identificando brechas de productividad, eficiencia de combustible y accidentabilidad laboral.

1.6.2 Objetivos específicos

1. Cuantificar la producción mensual real (m^3/mes) y compararla con la producción potencial estimada, determinando la pérdida operacional porcentual asociada a tiempos muertos y fallas mecánicas.
2. Evaluar el consumo específico de combustible (litros/m^3) y compararlo con rangos de referencia de la literatura técnica.
3. Determinar la tasa de accidentabilidad laboral (%) durante el período de estudio, identificando las principales causas declaradas de los incidentes.
4. Proponer un conjunto acotado de indicadores clave de desempeño (KPI) y medidas de mejora en mantenimiento preventivo y seguridad, adaptadas a los recursos limitados de una empresa contratista pequeña/mediana.

2. MÉTODOS

2.1 Área de estudio

La investigación se desarrolló en faenas forestales mecanizadas operadas por una empresa de servicios de cosecha forestal mecanizada y semi mecanizada en la Región del Biobío. Las operaciones evaluadas correspondieron principalmente a actividades de cosecha y procesamiento forestal ejecutadas mediante maquinaria especializada.

2.2 Maquinaria forestal utilizada en el estudio

De acuerdo con los antecedentes proporcionados por la empresa, las principales máquinas utilizadas durante las operaciones forestales correspondieron a:

- Skidder John Deere Grapple 648–G III
- Procesador Komatsu PC – 200 Waratah HTH–620
- Feller Buncher Timberjack 608–L Waratah HTH-620

Complementariamente, la flota incluyó otros equipos de apoyo que operaron en las faenas durante el período de estudio.

2.3 Período de análisis

El estudio abarcó un período de cuatro meses (agosto a noviembre), correspondiente al período para el cual se dispuso de registros operacionales completos y verificables.

2.4 Tipo de investigación

El estudio correspondió a una investigación descriptiva de carácter aplicado. El enfoque metodológico estuvo orientado al análisis técnico-operacional de variables relacionadas con productividad, costos operacionales y accidentabilidad laboral.

2.5 Recolección de información

La recopilación de información se realizó mediante:

- Revisión documental de registros internos de la empresa (producción mensual, consumo de combustible, partes de accidentes).
- Observación en terreno.

Adicionalmente, se consultaron los registros de personal de la empresa correspondientes al período estudiado, los cuales permitieron identificar la nómina de trabajadores operativos expuestos a riesgos en faena. Los registros de accidentabilidad se basaron en los partes internos de incidentes con lesión reportados por los supervisores de terreno. Los registros de la empresa no discriminaban individualmente por máquina, por lo que no fue posible desagregar el consumo de combustible ni la producción por cada equipo de forma independiente.

2.6 Variables analizadas

Las principales variables consideradas en el estudio se indican en la cuadro 2:

Cuadro 2. Variables y unidades de medida consideradas en el estudio

Variable	Unidad de medida
Producción mensual	m ³ /mes
Producción potencial	m ³ /mes
Consumo de combustible	litros/mes
Horas máquina	horas/mes
Accidentabilidad	%

Nota: Si bien la literatura técnica recomienda evaluar la disponibilidad mecánica (%) como indicador clave en operaciones forestales mecanizadas, la empresa no contaba con registros sistemáticos de horas de mantenimiento ni tiempos de detención de maquinaria durante el período de estudio. Por lo tanto, dicha variable no pudo ser cuantificada en el presente diagnóstico.

La producción potencial fue estimada por la empresa con base en los rendimientos históricos alcanzados en faenas anteriores sin fallas mecánicas significativas ni problemas de coordinación logística. No se dispuso de referencias externas independientes para validar este valor. No obstante, al contrastar estos valores con los rangos de productividad reportados en la literatura especializada (Santamaría 2010), la producción potencial estimada por la empresa (11.688 m³/mes) equivalente a aproximadamente 22 m³/PMH por equipo (asumiendo 22 días hábiles mensuales, 8 horas efectivas

diarias y tres equipos principales), valor que se encuentra ligeramente por debajo del rango inferior de referencia (25-40 m³/PMH), lo que sugiere que incluso el potencial declarado por la empresa es conservador en comparación con estándares óptimos de la literatura.

2.7 Análisis estadístico

Para el procesamiento y análisis de los datos recopilados, se aplicó estadística descriptiva, la cual permitió resumir y caracterizar el comportamiento de las variables operacionales durante el período de estudio. Las técnicas utilizadas fueron las siguientes:

- Cálculo de promedios: Para determinar la producción mensual media, el consumo promedio de combustible y la tasa de accidentabilidad del período.
- Análisis porcentual: Para calcular la pérdida operacional relativa (%) entre producción real y producción potencial.
- Comparación entre valores reales y potenciales: Con el fin de cuantificar las brechas de desempeño.
- Evaluación de variabilidad operacional: Mediante la observación de las diferencias mes a mes en producción y consumo de combustible.

Adicionalmente, se calculó el consumo específico de combustible (L/m³) a partir de los datos de producción y consumo, permitiendo evaluar la eficiencia energética de las operaciones y compararla con rangos de referencia de la literatura técnica.

3. RESULTADOS

3.1 Producción operacional

3.1.1 Producción mensual y brecha operacional

El cuadro 3 presenta la producción mensual real y la producción potencial estimada por la empresa para cada mes del período estudiado.

Cuadro 3. Producción mensual estimada

Mes	Producción Real (m³)	Producción Potencial (m³)	Diferencia (m³)	Pérdida (%)
Agosto	9.210	11.200	1.990	17,8
Septiembre	9.540	11.600	2.060	17,8
Octubre	10.330	12.100	1.770	14,6
Noviembre	9.690	11.850	2.160	18,2
Promedio	9.693	11.688	1.995	17,1

Se observa que octubre registró la mayor producción real (10.330 m³), mientras que agosto presentó el valor más bajo (9.210 m³). La producción potencial se mantuvo relativamente estable entre 11.200 y 12.100 m³ mensuales. La diferencia entre ambos valores fue consistente a lo largo de los cuatro meses, oscilando entre 1.770 m³ (octubre) y 2.160 m³ (agosto), lo que indica un patrón sistemático de pérdida operacional más que un evento puntual aislado.

La producción promedio mensual registrada alcanzó aproximadamente 9.693 m³, mientras que la producción potencial estimada correspondió a 11.688 m³ mensuales. La diferencia promedio alcanzó aproximadamente 1.995 m³ mensuales, representando una pérdida operacional del 17,1% respecto a la producción potencial.

3.1.2 Análisis de productividad por equipo

Al desagregar la producción total entre los tres equipos principales que componen la flota (Skidder John Deere Grapple 648-G III, Procesador Komatsu PC-200 Waratah HTH-620, y Feller Buncher Timberjack 608-L Waratah HTH-620), se estimó un rendimiento promedio por equipo de aproximadamente 18 m³/PMH (Productive Machine Hour), considerando una jornada estándar de 22 días hábiles mensuales con 8 horas efectivas por día.

Este valor se encuentra por debajo del rango de referencia de 25 a 40 m³/PMH reportado en la literatura especializada para equipos cosechadores y procesadores que operan en plantaciones de Pinus radiata bajo condiciones óptimas. La brecha respecto al límite inferior del rango de referencia (25 m³/PMH) es de aproximadamente un 28%, lo que confirma un significativo margen de mejora en la eficiencia operacional de los equipos.

3.1.3 Comportamiento de la variabilidad mensual

La producción mensual presentó una oscilación de 1.120 m³ entre el mes de menor producción (agosto: 9.210 m³) y el de mayor producción (octubre: 10.330 m³). Esta diferencia equivale a una variabilidad relativa del 11,5% en relación al promedio de ambos extremos (9.770 m³), reflejando que la producción no fue absolutamente estable durante el período evaluado. Esta oscilación, sumada a la consistencia de la brecha con la producción potencial (que se mantuvo entre 14,6% y 18,2%), sugiere que las pérdidas operacionales responden a factores estructurales más que a contingencias puntuales.

La variabilidad observada indica la ausencia de un método de trabajo estandarizado, lo que deja el resultado final sujeto a factores externos no controlados y a la variabilidad en el desempeño diario de los equipos y operadores.

3.2 Consumo de combustible

3.2.1 Consumo mensual y específico

El consumo promedio mensual de diésel alcanzó aproximadamente 31.176 litros. A partir de los datos de producción real (cuadro 3) y consumo de combustible, se calculó el consumo específico (litros por metro cúbico producido), cuyo resultado se presenta en el cuadro 4.

Cuadro 4. Consumo específico de combustible (L/m³)

Mes	Litros consumidos	Producción (m3)	Consumo específico (L/m ³)
Agosto	30.500	9.210	$30.500 / 9.210 = 3,31$
Septiembre	31.200	9.540	$31.200 / 9.540 = 3,27$
Octubre	31.830	10.330	$31.830 / 10.330 = 3,08$
Noviembre	31.175	9.690	$31.175 / 9.690 = 3,22$
Promedio	31.176	9.693	3,22

3.2.2 Comparación con rangos de referencia

El consumo específico promedio de 3,22 L/m³ supera en aproximadamente un 29% el límite superior del rango de referencia esperado para operaciones de cosecha mecanizada en Chile, que según Bravo y Silva (2019) se sitúa entre 1,8 y 2,5 L/m³. En términos prácticos, esto significa que la empresa está gastando al menos un 29% más de lo esperado en diésel para mover la misma cantidad de madera.

3.2.3 Relación entre producción y consumo

Se observa una relación inversa entre producción y consumo específico: en octubre, el mes de mayor producción (10.330 m³), se registró el menor consumo específico (3,08 L/m³); en agosto, el mes de menor producción (9.210 m³), se registró el mayor consumo específico (3,31 L/m³). Esta relación sugiere una asociación entre mayor continuidad operacional y mejor eficiencia de combustible. Es probable que en meses con menos tiempos muertos (octubre) el motor haya permanecido menos horas en ralentí, mientras que en meses con más detenciones (agosto) el consumo de diésel se haya mantenido sin la correspondiente producción.

3.2.4 Eficiencia energética como indicador integrador

El alto consumo específico detectado no puede atribuirse únicamente a la topografía del terreno o a condiciones del sitio, sino que generalmente responde a una combinación de factores:

- Malas prácticas de operación: ralentí excesivo, aceleraciones y frenados bruscos.
- Condiciones mecánicas deficientes de los equipos: fugas en sistemas hidráulicos, mala calibración, filtros obstruidos.

Por lo tanto, el consumo específico actúa como un indicador integrador que refleja problemas tanto mecánicos como conductuales en la operación.

3.3 Accidentabilidad laboral

3.3.1 Tasa de accidentabilidad

Durante el período de estudio (agosto a noviembre), la empresa registró un total de 5 accidentes con lesión en una dotación promedio de 21 trabajadores operativos expuestos a riesgos en faena. Sobre esta base, se calculó una tasa de accidentabilidad acumulada del período del 23,8% ($5/21 \times 100$)(Cuadro 5).

Cuadro 5. Resumen de accidentabilidad laboral

Período	Nº accidentes	Dotación promedio	Tasa promedio (%)	Proyección anual (%)
Agosto – Noviembre	5	21	23,8	71,4 *

*Proyección lineal indicativa con fines de referencia, asumiendo distribución uniforme de accidentes en el tiempo.

Esta tasa corresponde a un período de 4 meses. Como referencia indicativa —considerando que los accidentes no necesariamente se distribuyen uniformemente en el tiempo—, una proyección lineal arrojaría una tasa anualizada de aproximadamente 71,4%. Si bien esta proyección tiene limitaciones estadísticas, contrasta fuertemente con los estándares sectoriales actuales, que según Kahler (2024) son inferiores al 1% anual para el sector forestal formal.

3.3.2 Análisis de causas

Las causas identificadas en los registros de la empresa fueron: falta de capacitación, exceso de jornadas laborales, mantención deficiente de maquinaria y problemas de supervisión. Estas causas son de carácter organizacional y preventivo, es decir, potencialmente corregibles mediante mejoras en gestión, a diferencia de factores externos no controlables como las condiciones climáticas o la topografía del terreno.

3.3.3 Comparación con estándares sectoriales

La tasa de accidentabilidad acumulada del 23,8% en cuatro meses es extremadamente alta en comparación con los estándares del sector forestal chileno formal, que según datos recientes han logrado reducir su tasa anual a menos del 1% (Kahler 2024). Esta diferencia sugiere que la empresa estudiada pertenece al segmento de contratistas rezagados que no ha adoptado los estándares modernos de seguridad.

3.3.4 Resumen integrado de hallazgos

El cuadro 6 presenta un resumen de los principales indicadores operacionales diagnosticados en la empresa durante el período de estudio.

Cuadro 6. Resumen de indicadores operacionales

Variable	Valor observado	Referencia sectorial	Brecha
Producción promedio	9.693 m³/mes	11.688 m³/mes (potencial)	17,1 %
Productividad por equipo	18 m³/PMH	25 – 40 m³/PMH	-28 % a -55 %
Consumo específico	3,22 L/m³	1,8 – 2,5 L/m³	+29 % (vs. límite superior)
Accidentabilidad (4 meses)	23,8 %	<1% anual	+22,8 p.p. (vs. Estándar anual)

4. DISCUSIÓN

4.1 Interpretación de las brechas operacionales

Los resultados obtenidos en el presente diagnóstico confirman las sospechas iniciales sobre la existencia de brechas operacionales significativas en la empresa contratista estudiada. La pérdida productiva del 17,1% (equivalente a 1.995 m³/mes) y la baja productividad por equipo (18 m³/PMH) no son hechos aislados, sino una consecuencia directa de la alta dependencia de mantenciones correctivas y la acumulación de tiempos muertos.

Santamaría (2010) sostiene que la falta de registro de los tiempos operacionales condena a la empresa a repetir estos errores. En este caso, la empresa carece de sistemas formales para distinguir entre pérdidas evitables (ej. espera por coordinación, fallas mecánicas) e inevitables (ej. lluvia). La variabilidad mensual del 11,5% en la producción sugiere que no existe un método de trabajo estandarizado, dejando el resultado final sujeto a factores externos no controlados.

4.2 El problema del mantenimiento reactivo

La discusión central gira en torno al modelo de mantenimiento. Los resultados mostraron una elevada incidencia de fallas mecánicas y mantenciones correctivas, lo que se alinea con la descripción del modelo reactivo que predomina en pequeñas contratistas. Si bien la empresa no contaba con registros históricos de disponibilidad mecánica, la magnitud de las pérdidas (17,1%) permiten inferir que la disponibilidad real está muy por debajo de los estándares necesarios para la competitividad.

Sivakov et al. (2025) destacan que la eficiencia del mantenimiento de equipos forestales mejora significativamente cuando se implementan sistemas de monitoreo permanente de parámetros técnicos y se integran estos datos en una plataforma de gestión empresarial unificada. La ausencia de este tipo de herramientas en la empresa estudiada constituye una barrera estructural para la mejora de su disponibilidad mecánica.

Por su parte, Diniz et al. (2024), en una investigación aplicada a Skidders, demostraron que la implementación de un sistema de mantenimiento de clase mundial (WCM) no solo aumentó la disponibilidad mecánica, sino que también redujo en un 47% el consumo de aceite hidráulico y disminuyó los costos de reparación en un 8%. Estos resultados subrayan que la mantención no debe ser vista como un gasto, sino como una inversión estratégica, en contraste con la realidad observada en la empresa, donde predominan las intervenciones correctivas de emergencia.

4.3 Ineficiencia energética y sus implicancias

El consumo específico de 3,22 L/m³ es un claro indicador de ineficiencia que se sitúa muy por encima del rango de referencia. Bravo y Silva (2019) establecen que valores superiores a 3,0 L/m³ son una señal de alerta que sugiere ineficiencias operacionales graves. En el contexto de esta empresa, este nivel de ineficiencia no puede atribuirse únicamente a la topografía del terreno, sino que responde a una combinación de malas prácticas de operación y condiciones mecánicas deficientes.

El alto consumo específico actúa, por lo tanto, como un indicador integrador que refleja problemas tanto mecánicos como conductuales en la operación. La relación inversa observada entre producción y consumo específico sugiere que mejorar la continuidad operacional (reduciendo tiempos muertos) tendría un impacto doble: aumentar la producción y reducir el costo energético por metro cúbico.

4.4 Benchmarking internacional

Un aspecto que merece especial atención es la magnitud de la brecha entre la productividad observada en este estudio y los estándares internacionales contemporáneos. Di Fulvio et al. (2024), en un estudio de benchmarking que abarcó siete regiones globales, documentaron que los sistemas mecanizados de cosecha forestal presentan una amplia variabilidad en productividad y costos, influenciada por factores como el sistema de cosecha, el nivel de mecanización y las condiciones del sitio. El rendimiento estimado de 18 m³/PMH para la empresa se encuentra por debajo del rango de 25-40 m³/PMH reportado para condiciones óptimas, lo que confirma el margen de mejora identificado.

En cuanto a seguridad, la tasa de accidentabilidad acumulada del 23,8% en cuatro meses adquiere una dimensión crítica al contrastarse con la tendencia positiva del sector forestal chileno, que ha reducido su tasa anual a menos del 1% (Kahler 2024). La magnitud del problema no es exclusiva de Chile: en Minas Gerais, Brasil, Patiño et al. (2023) reportaron que las lesiones constituyeron el 93,9% de los accidentes laborales en el sector forestal, con un alarmante 49,5% correspondiente a fracturas de extremidades. La similitud de las causas identificadas (falta de capacitación, exceso de jornadas, mantención deficiente, problemas de supervisión) sugiere que los problemas de seguridad representan un desafío estructural en el segmento de contratistas pequeños de la región.

4.5 Implicancias para la gestión

Los hallazgos de este estudio tienen implicancias directas para la gestión de la empresa contratista:

- a. La ausencia de datos sistemáticos es el principal obstáculo: Sin registros de tiempos muertos, disponibilidad mecánica y desempeño por operador, la empresa no puede identificar las causas raíz de sus pérdidas ni evaluar el impacto de las mejoras.
- b. El mantenimiento reactivo es la causa raíz de la ineficiencia: La dependencia de reparaciones de emergencia genera un círculo vicioso: fallas → tiempos muertos → pérdida de producción → presión por producir → mantenimiento deficiente → más fallas.
- c. La seguridad laboral requiere un enfoque preventivo: Las causas identificadas son de carácter organizacional y, por lo tanto, corregibles mediante intervenciones de gestión. Las certificaciones internacionales y la tecnología avanzada que han reducido los accidentes a nivel nacional son ajenas a su realidad operativa.

4.6 Propuesta de implementación y mejoramiento operacional

A partir del diagnóstico realizado, se presenta una propuesta estructurada en cuatro ejes de intervención: implementación de indicadores KPI, programa de mantenimiento preventivo, fortalecimiento organizacional y medidas de seguridad laboral.

4.6.1 Implementación de indicadores KPI

Se propone implementar un sistema de indicadores clave de desempeño (KPI) orientado al monitoreo sistemático de productividad, eficiencia y seguridad. El cuadro 7 presenta los indicadores seleccionados, sus unidades de medida y sus objetivos generales.

Cuadro 7. Indicadores operacionales propuestos

Indicador	Unidad	Objetivo
Producción mensual	m ³ /mes	Evaluar productividad
Consumo específico	Litros/m ³	Evaluar eficiencia energética
Accidentabilidad	%	Disminuir riesgos laborales
Horas improductivas	Horas/mes	Reducir pérdidas operacionales

Nota: La disponibilidad mecánica, si bien es un indicador relevante, requiere de registros sistemáticos de horas de detención con que la empresa no contaba al momento del diagnóstico. Se recomienda comenzar a registrar estas variables para poder incorporar este indicador en el mediano plazo.

A continuación, se detalla cada indicador, su método de cálculo, frecuencia de medición recomendada, responsable sugerido y criterios de acción.

a. Producción mensual (m^3/mes)

Método de cálculo: Sumar el volumen total de madera cosechada durante el mes, registrado en las planillas de producción o en los sistemas de monitoreo a bordo de las máquinas.

Frecuencia: Mediciones diarias con análisis semanal y consolidado mensual.

Responsable: Supervisor de faena.

Criterio de acción: Si la producción mensual es inferior al 90% de la meta contractual durante dos meses consecutivos, se debe realizar una revisión de la planificación operacional y la coordinación logística.

b. Consumo específico de combustible (Litros/ m^3)

Método de cálculo: Consumo específico = Litros totales de diésel consumidos en el mes / m^3 producidos en el mes. Los litros consumidos se registran a partir de las facturas de proveedores o de los medidores de los equipos.

Frecuencia: Cálculo mensual, con revisión de tendencias cada trimestre.

Responsable: Supervisor de faena y administración.

Criterio de acción: Si el consumo específico supera los 2,8 L/ m^3 , se debe capacitar a los operadores en técnicas de conducción eficiente, revisar el ajuste de los sistemas hidráulicos y verificar el estado de los filtros.

c. Accidentabilidad (%)

Método de cálculo: Accidentabilidad (%) = (Número de accidentes con lesión en el mes / Número total de trabajadores expuestos en el mes) $\times$ 100. Se considera accidente con lesión aquel que requiere atención médica o genera al menos un día de incapacidad laboral.

Frecuencia: Cálculo mensual, con análisis de causas inmediato tras cada incidente.

Responsable: Encargado de prevención de riesgos y jefe de faena.

Criterio de acción: Si la tasa supera el 15% o se produce un accidente grave, se debe detener la faena para una revisión de seguridad, reforzar la capacitación preventiva y aumentar la supervisión en terreno.

d. Horas improductivas (Horas/mes)

Método de cálculo: Sumar las horas en que la maquinaria estuvo detenida por causas evitables: espera de camiones, falta de frente de cosecha, fallas mecánicas, espera de repuestos. Se excluyen detenciones por lluvia o causas climáticas extremas.

Frecuencia: Registro diario por operador, consolidado semanal.

Responsable: Operadores (registro) y supervisor (análisis).

Criterio de acción: Si las horas improductivas superan el 15% de las horas programadas semanalmente, se debe analizar la causa principal y tomar acciones correctivas.

4.6.2 Programa de mantenimiento preventivo

El diagnóstico evidenció que gran parte de las pérdidas operacionales (17,1%) se relacionan con fallas mecánicas y mantenciones correctivas de emergencia. Actualmente, la empresa opera bajo un modelo reactivo. Se propone migrar a un modelo preventivo, que consiste en intervenir la maquinaria en intervalos programados basados en horas de operación, antes de que ocurran fallas.

El cuadro 8 presenta el programa preventivo mínimo recomendado, adaptado a los recursos limitados de una empresa pequeña/mediana.

Cuadro 8. Programa de mantenimiento preventivo

Actividad	Frecuencia	Descripción
Revisión hidráulica	Semanal	Inspección visual de mangueras, conexiones y niveles de aceite hidráulico; verificación de fugas
Lubricación general	Semanal	Aplicación de grasas en puntos de lubricación según manual del fabricante (rodamientos, articulaciones)
Cambio de filtros	Mensual	Reemplazo de filtros de combustible, aceite y aire según horas máquina o calendario
Inspección cadenas y rodados	Quincenal	Verificación de tensión y desgaste de cadenas de orugas; inspección de rodillos y sprockets
Evaluación motor principal	Mensual	Revisión de niveles de aceite motor, estado del turbo, correas y sistema de refrigeración

Implementación práctica: Para implementar este programa se requiere: (a) registro diario de horas máquina por cada operador, (b) checklist de mantenimiento para cada actividad, (c) registro de mantenciones en archivo Excel o cuaderno, y (d) inventario mínimo de repuestos críticos (filtros, grasas, aceites, cadenas).

4.6.3 Fortalecimiento organizacional

Se propone fortalecer procesos administrativos y de supervisión mediante:

- Protocolos operacionales escritos: Procedimientos estándar para inicio de turno, operación de máquinas, reporte de fallas y fin de turno. Estos protocolos deben ser conocidos por todos los operadores.
- Registros de productividad diarios: Planilla simple para cada operador con producción (m³), horas máquina, consumos estimados y cualquier incidencia. Esto permite calcular los KPI sin sistemas complejos.
- Reuniones de coordinación semanal: Reunión de 30 minutos los lunes con operadores, mecánico y supervisor para revisar la semana anterior (producción, fallas, accidentes) y planificar la semana siguiente.
- Capacitaciones permanentes: Al menos una capacitación semestral en temas técnicos (operación eficiente, mantenimiento básico) y una en prevención de riesgos.
- Evaluación de desempeño: Evaluar a los operadores con base en productividad, consumo de combustible y reporte de mantenciones, no solo por producción bruta.

4.6.4 Seguridad laboral

La tasa de accidentabilidad detectada requiere acciones inmediatas. Las medidas propuestas son:

- Reforzar capacitación preventiva: Capacitación obligatoria mensual de 1 hora sobre riesgos específicos de la faena (atrapamientos, proyección de astillas, vuelcos). Registrar asistencia y evaluación.
- Implementar protocolos de emergencia: Tener un plan escrito para accidentes graves (rescate, primeros auxilios, contacto con centros de salud) y realizar simulacros semestrales.
- Supervisar uso de EPP: El supervisor debe verificar diariamente que todos los operadores usen casco, antiparras, protectores auditivos, guantes y ropa de seguridad. El no uso debe ser sancionado.
- Controlar jornadas laborales: No exceder las 10 horas diarias de operación continua. Implementar pausas obligatorias cada 2 horas para evitar fatiga. Esta medida responde directamente a una de las principales causas de accidentes identificadas en los registros de la empresa —"exceso de jornadas laborales"— la cual contribuyó a la tasa de accidentabilidad del 23,8% registrada durante el período de estudio.

- Fortalecer supervisión técnica: Aumentar la presencia de un supervisor dedicado exclusivamente a seguridad (no mezclado con producción) al menos durante los primeros tres meses de implementación.

5. CONCLUSIONES

El presente estudio cumplió con su objetivo general de realizar un diagnóstico técnico-operacional de una empresa contratista de cosecha forestal mecanizada en la Región del Biobío, con base en cuatro meses de registros operacionales. A continuación, se presentan las conclusiones que se derivan del estudio:

La producción real promedio fue de 9.693 m³/mes, mientras que la producción potencial estimada alcanzó 11.688 m³/mes, lo que representa una pérdida operacional promedio del 17,1% (1.995 m³/mes). Esta pérdida se mantuvo constante a lo largo de los cuatro meses, lo que sugiere deficiencias estructurales en planificación, mantenimiento y supervisión, más que eventos puntuales aislados.

Si bien la empresa no contaba con registros sistemáticos para cuantificar la disponibilidad mecánica, el alto consumo específico de combustible (3,22 L/m³ en promedio) supera en aproximadamente un 29% el límite superior del rango de referencia de 1,8 a 2,5 L/m³ reportado por Bravo y Silva (2019). Este indicador actúa como un reflejo indirecto de la salud operacional, sugiriendo problemas combinados de mantenimiento deficiente y malas prácticas de operación.

La tasa de accidentabilidad acumulada del periodo alcanzó el 23,8%, valor extremadamente alto en comparación con los estándares sectoriales actuales (inferiores al 1% anual según Kahler 2024). Las causas identificadas son de carácter organizacional y, por lo tanto, corregibles mediante intervenciones de gestión.

Se diseñó un conjunto de herramientas adaptadas a los recursos limitados de una empresa contratista pequeña/mediana, que incluye: (a) un tablero de indicadores KPI, (b) un programa de mantenimiento preventivo, (c) acciones de fortalecimiento organizacional y (d) medidas específicas de seguridad laboral.

La empresa contratista estudiada presenta importantes brechas operacionales en productividad, eficiencia energética y seguridad laboral —que se expresan en una pérdida operacional del 17,1%, un consumo específico de 3,22 L/m³ (29% por sobre el límite superior del rango de referencia) y una tasa de accidentabilidad acumulada del 23,8%—, asociadas fundamentalmente a un modelo de mantenimiento reactivo y a la ausencia de sistemas formales de control de gestión. La implementación de las herramientas propuestas en esta investigación permitiría aumentar significativamente la eficiencia operacional, reducir costos por metro cúbico producido y disminuir los riesgos laborales, mejorando así la sostenibilidad económica y operativa de la organización.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez V. 2016. Gestión y productividad en operaciones forestales mecanizadas. *Revista Forestal Chilena* 18(2):45-59.
- Bravo F, Silva M. 2019. Evaluación operacional de maquinaria forestal en empresas contratistas del sur de Chile. *Bosque* 40(3):221-233.
- Di Fulvio F, Acuna M, Ackerman P, Ackerman S, Spinelli R, Abbas D, Kaakkurivaara N, Sánchez-García S, Guerra SPS. 2024. Benchmarking operational conditions, productivity, and costs of harvesting from industrial plantations in different global regions. *International Journal of Forest Engineering* 35(2):225-250. <https://doi.org/10.1080/14942119.2023.2296789>
- Diniz CC, de Oliveira Lopes E, de Souza AP, de Oliveira D, do Nascimento D. 2024. Analysis of the implementation of world-class maintenance in forest skidders. *Revista Árvore* 48:e4803.
- Engler B, Hartmann G, Mederski PS, et al. 2024. Impact of forest operations in four biogeographical regions in Europe: Finding the key drivers for future development. *Current Forestry Reports* 10:337-359. <https://doi.org/10.1007/s40725-024-00226-4>
- FAO. 2018. Manual de operaciones forestales mecanizadas. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- INFOR. 2019. Productividad y eficiencia en sistemas de cosecha forestal mecanizada. Santiago, Chile: Instituto Forestal de Chile.
- INFOR. 2020. Informe anual del sector forestal chileno. Santiago, Chile: Instituto Forestal de Chile.
- Kahler A. 2024. Seguridad en el sector forestal: Avances y desafíos. Presentación técnica. Santiago, Chile.
- López R, Herrera J. 2021. Sistemas de control de gestión aplicados a empresas contratistas forestales. *Revista Ingeniería Forestal* 12(1):66-81.
- Patiño HFM, Leite ÂMP, Oliveira MLR, Schettino S, Simões MRL. 2023. Descriptive study of work accidents involving forest workers at Minas Gerais state. *Nativa* 11(1):87-94. <https://doi.org/10.31413/nativa.v11i1.12428>
- Santamaría R. 2010. Productividad y costos en operaciones forestales mecanizadas. *Revista Bosque* 31(2):55-67.
- Sivakov VV, Zaikin AN, Gryadunov SS, Nikitin VV. 2025. Service maintenance management improvement of agricultural and forestry equipment. *Forestry Engineering Journal* 29(1):172-186. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2025-1-172-186>