



Universidad del Desarrollo
Facultad de Ingeniería

TECNOLOGIA DE RAYOS-X EN EL APROVECHAMIENTO DE FIBRA SIN DEFECTOS EN PINO RADIATA, OPORTUNIDADES DE MEJORA

ANTOLIANO ORLANDO BURDILES MEDINA

PROFESOR(ES) GUÍA: HÉCTOR VALDÉS GONZÁLEZ, PhD
CRISTIAN PALMA INFANTE, PhD

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA
UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE
MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS

CONCEPCIÓN - CHILE
2021



Universidad del Desarrollo
Facultad de Ingeniería

TECNOLOGIA DE RAYOS-X EN EL APROVECHAMIENTO DE FIBRA SIN DEFECTOS EN PINO RADIATA, OPORTUNIDADES DE MEJORA

POR: ANTOLIANO ORLANDO BURDILES MEDINA

Proyecto de Grado presentado a la Comisión integrada por los profesores:

PROFESORES GUIA: Héctor Valdés González, PhD y Cristian Palma Infante, PhD.

PROFESOR INTEGRANTE 1: Lorenzo Reyes Bozo, PhD.

PROFESOR INTEGRANTE 2: Felipe Baesler, PhD.

PROFESOR INTEGRANTE 3:

Para completar las exigencias del Grado de Magíster en Ingeniería Industrial y de Sistemas.

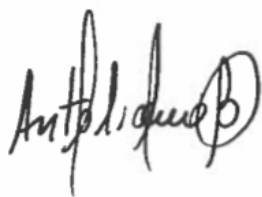
Diciembre, 2021

Concepción, Chile

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Por medio de la presente, declaro que el trabajo titulado: **TECNOLOGIA DE RAYOS-X EN EL APROVECHAMIENTO DE FIBRA SIN DEFECTOS EN PINO RADIATA, OPORTUNIDADES DE MEJORA**, que presento a la Universidad del Desarrollo de Chile, es de mi autoría y no ha sido publicado previamente, ni está siendo considerado para publicación bajo otra filiación. En igual sentido, declaro que el trabajo de tesis y su contenido, son originales y que todos los datos y referencias a trabajos ya publicados con anterioridad han sido debidamente identificados, referenciados o citados en el documento, y que estas citas han sido incluidas en las referencias bibliográficas. Afirmo, asimismo, que los materiales presentados no se encuentran protegidos por derechos de autor; y en caso de que así lo estuvieran, me hago responsable de cualquier litigio o reclamo relacionado con la violación de derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad a la Universidad del Desarrollo de Chile.

Finalmente, me comprometo a no someter este trabajo (o parte de este), a consideración en ninguna revista o congreso para publicación sin contar con la aprobación y haber pasado el debido proceso de revisión en Universidad del Desarrollo. En caso de que un artículo sea aprobado para su publicación, autorizo a la Universidad del Desarrollo a incluir dicho artículo en sus revistas, y a reproducirlo, editarlo, distribuirlo, exhibirlo y comunicarlo en el país y en el extranjero, por medios impresos, electrónicos, Internet o cualquier otro medio, para propósitos científicos y sin fines de lucro.



ANTOLIANO ORLANDO BURDILES MEDINA

Firma

A mi Madre y Hermano que me acompañan desde el cielo.

A mi Padre y mi familia por su apoyo incondicional.

A mis amados hijos Camila y Cristóbal.

AGRADECIMIENTOS

Así como en la vida, este importante paso alcanzado no sería posible sin el apoyo incondicional de personas que de una u otra forma me han ayudado al logro de este objetivo, es así como quisiera agradecer al profesor Sr. Cristian Palma Infante, PhD, y es especial al director del Magister Sr. Héctor Valdés González, PhD, a mis compañeros Marco Suazo Pilser, Elisabeth Espinoza, Josefa Cardemil, Felipe Pizarro, André Muñoz y Samuel Quintana, que compartimos largas jornadas de estudio y desarrollo de trabajos, aprendimos con la pandemia a enfrentarnos a una nueva realidad y a apoyarnos a distancia. Ha sido fundamental el apoyo de la Empresa donde realizamos los estudios y análisis y sus Directivos, a quien doy mis mayores agradecimientos.

Gran fuente de inspiración y perseverancia han sido nuestros Hijos Camila y Cristóbal, que junto a mi exesposa Mariela, nos brindan una incansable energía y motivación por salir adelante pese a todas las dificultades que nos pueda plantear la vida, a mi Madre y Hermano, que desde el cielo se siente su mano protectora y a mi Padre, hermanas, ahijado y sobrinos que con su cariño y cercanía consolidan el gran valor de una familia unida.

TECNOLOGIA DE RAYOS-X EN EL APROVECHAMIENTO DE FIBRA SIN DEFECTOS EN PINO RADIATA, OPORTUNIDADES DE MEJORA

Antoliano Orlando Burdiles Medina

Bajo la supervisión de los Profesores Héctor Valdés González, PhD, y Cristian Palma Infante, PhD, en la Universidad del Desarrollo de Chile

Resumen

Este trabajo presenta un análisis de factores y condiciones de mejora relacionadas con el uso de la tecnología de rayos-x, en un escáner industrial, utilizado en una empresa del rubro forestal-maderero. El objetivo de esta investigación es proponer un plan de mejoramiento, basado en el uso de la tecnología de rayos-x para la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados. Para lograrlo se propone una aproximación cualitativa a las opiniones de 11 informantes claves, entre subgerentes, jefes de operaciones, planificadores, ingenieros de procesos y operadores expertos, basada en entrevistas semi estructuradas y considerando una muestra por conveniencia, para entender cómo y por qué es concebida la utilización, operación y oportunidades de mejora en la implementación de la tecnología de rayos-x. Los distintos escenarios analizados muestran que la implementación del escáner de rayos-x impacta positivamente en el aprovechamiento de los rollizos podados, donde se verifica que segregarlos de acuerdo a su mejor aptitud de uso genera positivos beneficios y se visualiza además que existen oportunidades de mejora a implementar que permitan utilizar aún más el potencial que esta tecnología tiene, por la alta capacidad de capturar datos y transformarlos en información para obtener otras líneas de desarrollo y optimización, por mejoras en el escáner y en el layout donde se emplaza actualmente, por el uso en nuevos productos y/o mercados y por el uso de datos ya sean en el área Forestal o procesos posteriores. En síntesis, el análisis realizado con la metodología propuesta ha demostrado que, para la situación analizada, es muy positivo el uso del escáner de rayos-x por el beneficio que genera una segregación por aptitud de uso de los rollizos podados y, además es posible desarrollar distintas iniciativas de mejora que permitan un mejor aprovechamiento del potencial que esta tecnología posee, por lo que se propone un plan de mejoramiento con plazos y responsables y con actividades detalladas en cada uno de los factores propuestos para desarrollar estas mejoras.

PALABRAS CLAVES: Tomografía computarizada, rollizos podados, aserrado de madera, patrones de corte, segregación de rollizos.

HIGHLIGHTS

TECNOLOGIA DE RAYOS-X EN EL APROVECHAMIENTO DE FIBRA SIN DEFECTOS EN PINO RADIATA, OPORTUNIDADES DE MEJORA

ANTOLIANO ORLANDO BURDILES MEDINA

- Propone un plan de mejoramiento del uso de la tecnología de rayos-x en rollizos podados.
- Propone una aproximación cuantitativa de once informantes claves.
- Se basa en entrevistas semiestructuradas y considerando una muestra por conveniencia.
- Muestra el impacto positivo de la implementación de la tecnología de rayos-x.
- Verifica oportunidades de mejora para aprovechar aún más el potencial de la tecnología.
- Propone un plan de mejoramiento con actividades para cada uno de los factores posibles de mejorar.

ÍNDICE GENERAL

Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN	9
1.1	TECNOLOGÍA DE RAYOS-X, OPORTUNIDADES DE MEJORA.....	9
1.2	BREVE DISCUSIÓN DE LA LITERATURA	10
1.3	CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO	14
1.4	OBJETIVO GENERAL.....	15
1.4.1	<i>Objetivos específicos</i>	15
1.5	PROPUESTA METODOLÓGICA	15
1.6	ORGANIZACIÓN Y PRESENTACIÓN DE ESTE TRABAJO	18
2	INFORMACIÓN Y RESULTADOS	20
2.1	PROCEDIMIENTO DE RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS	20
2.2	PROCESO DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN.....	23
2.3	LOS DATOS RECOGIDOS:	23
2.4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	24
2.5	PLAN DE MEJORAMIENTO PROPUESTO	34
2.6	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35
2.7	ESTRATEGIA DE EVIDENCIAS CIENTÍFICAS.....	40
3	ARTÍCULO	41
4	CONCLUSIONES GENERALES	58
4.1	PROPUESTA PARA TRABAJOS FUTUROS	59
5	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	61
6	ANEXO: REPORTE DE PLAGIO.....	64

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

<i>TABLA 1 – CUESTIONARIO DEL INSTRUMENTO.....</i>	<i>22</i>
<i>TABLA 2 – CATEGORÍAS DE RESPUESTAS.....</i>	<i>23</i>
<i>FIGURA 1 – IMPACTOS DE LA TECNOLOGÍA DE RAYOS-X.....</i>	<i>25</i>
<i>FIGURA 2 – OPORTUNIDADES DE MEJORA.....</i>	<i>30</i>
<i>FIGURA 3 – BARRERAS EN EL USO.....</i>	<i>32</i>
<i>FIGURA 4 – FACTORES DE MEJORAMIENTO.....</i>	<i>35</i>
<i>FIGURA 5 – CRONOGRAMA DE MEJORAS.....</i>	<i>37</i>

1 INTRODUCCIÓN

Un desafío permanente en la Industria del Aserrío y Terciados es buscar el máximo aprovechamiento de la materia prima, considerando que ésta constituye del orden del 75% del costo total del producto final, pasando a ser un factor crítico para mantener niveles de competitividad elevados que permitan mantenerse en el mercado y aprovechar las oportunidades que ofrece en tiempos de alta demanda y precios y soportar periodos de crisis. En este sentido la tecnología ha jugado un rol fundamental en subir los niveles de aprovechamiento de la materia prima, donde se logró una alta captura de la forma externa del rollizo que permite generar optimizaciones en terciados (centro geométrico) y aserradero con el giro de entrada para el primer corte. Lo anterior funciona bien para materia prima y productos donde se busca el máximo aprovechamiento volumétrico, pero existe un mercado de materia prima y productos sin defectos (clear) donde existe la oportunidad de conocer previamente la composición interna de los rollizos antes de decidir el primer corte y así sacar el máximo aprovechamiento ya sea en terciados o en aserradero. La tecnología para este fin existe desde hace tiempo, exportada de los avances en el área de la medicina, los rayos-x. Múltiples estudios demostraron que era posible ver dentro de los rollizos y así determinar su mejor aptitud de uso en terciados o aserradero y definir los cortes conociendo previamente su composición interna. El gran desafío para incorporar en los procesos productivos estaba en la velocidad de procesamiento, ya que se requería alcanzar niveles aceptables para que el costo permitiera que el uso de esta tecnología fuera rentable, esto se logró con el desarrollo de una empresa Italiana, Microtec, que el año 2011 presentó su primer prototipo de escáner de rayos-x para la industria forestal, siendo capaz de procesar rollizos a 60 ml/min (metros lineales por minuto), que lo hacía un proceso rentable y se realizó el montaje del primer y a la fecha único escáner de rayos-x en Chile.

1.1 Tecnología de rayos-x, oportunidades de mejora.

Dada esta realidad, es posible efectuar el siguiente cuestionamiento de contexto: ¿Cuáles son los componentes y/o variables de la implementación de tecnología de rayos-x posibles de mejorar en la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados?

En efecto, respecto del único escáner de rayos-x instalado en Chile para la optimización de rollizos podados, se desconocen los componentes y/o variables posibles de mejorar. Esto se

debe a que no se ha profundizado en utilizar al máximo la capacidad que esta tecnología posee y se ha limitado su uso a la salida original del proyecto.

1.2 Breve discusión de la literatura

Se entiende que los defectos presentes en la madera que se manufactura se correlacionan directamente a su valor, y por ello se busca posicionar estrategias que permitan minimizar este tipo de defectos en los productos resultantes. Luego la elección de la cara de corte resulta primordial desde el exterior de esta. Lo anterior se realiza teniendo en cuenta las escuadrías que se deben obtener de cada troza, de manera de satisfacer la demanda de escuadrías (Aguilera, Ramos & Salinas, 2002; Saldias, 2018).

La forma de realizar el primer corte tiene un gran impacto en el valor final de la madera (Schmoldt & He and Abbott, 2000; An & Schajer, 2014). Este impacto es mucho más importante, si se tiene en cuenta que el costo total de la madera incrementa los costos de producción de un 20% a 80%. De acuerdo con lo anterior, si se conociera la distribución interna de los defectos de un trozo, es posible obtener hasta 10 veces más el valor del producto final (Schmoldt & He and Abbott, 2000). Se han usado diferentes técnicas que permitan una adecuada clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos, entre otras, ultrasonido, microondas, rayos gama, resonancia nuclear magnética, infrarrojo, siendo una de las más efectivas para visualizar al interior de los trozos la tomografía computarizada (tomógrafo de rayos-x) (Schmoldt & He and Abbott, 2000; Ji, Cool & Duchesne, 2021).

Una Tomografía Computarizada (TC) refleja las variaciones en la densidad de un objeto o cuerpo. Las áreas de una densidad más alta aparecen en la imagen como áreas más claras, mientras que las de una densidad más baja aparecen como áreas más oscuras. La escala de grises que genera la TC permite detectar en la madera defectos internos, como, por ejemplo: nudos, grietas y médula. Esta técnica de tomografía se ha extendido ya que la correlación que existe entre la atenuación de rayos absorbidos por el cuerpo expuesto tiene una relación directa con la medida de densidad de los materiales.

En la TC, al estudiar un cuerpo, como un trozo de madera, se generan múltiples cortes o imágenes del cuerpo en estudio. Las imágenes obtenidas generan un arreglo tridimensional de valores, ya que la imagen cuenta con alto y ancho, pero también de un espesor debido al ancho del rayo que atraviesa la troza. Usando técnicas de visualización, como por ejemplo el

Rendering Volumétrico (RV) se puede disponer de una representación volumétrica de los datos, generando así una visualización de la troza. El RV usa el slice de datos en 2D para generar una representación de datos en 3D. Para la visualización interna y reconocimiento de defectos, el tratamiento de los datos considera otras etapas, principalmente segmentación y clasificación, (Lichtenbelt, Crane & Naqvi, 1998; Ji, Cool & Duchesne, 2021). Un equipo de rayos-x es el que entrega la información para el proceso de RV: a) Para recolectar esta información el sistema utiliza alguna propiedad específica (densidad) que está relacionada directamente con la absorción de los rayos-x por el cuerpo; b) luego este procedimiento se hace para todos los cortes de TC y se acumula una gran cantidad de cortes o imágenes en 2D; c) desde estos cortes el proceso siguiente es convertir los pixeles de las imágenes 2D en voxeles en la etapa d) y reconstruir el volumen original.

Elaboración en la industria del aserrío en Chile:

Uno de los actores fundamentales de la industria forestal-maderera es la industria del aserrío, siendo la base para el desarrollo de la industria secundaria y terciaria de transformación de la madera, pasando por productos elaborados y remanufacturados hasta muebles terminados, representando un gran potencial de demanda y desarrollo. Dicho proceso hacia una mayor elaboración, donde algunas unidades han optado por elaborar parte de su producción de madera aserrada, se da también al interior de la industria del aserrío.

Chile se sitúa como el décimo tercer productor del mundo, con una producción de 8,3 millones de metros cúbicos de madera aserrada anual. La industria se compone por un universo cercano a las 1.000 unidades productivas, donde aproximadamente el 50% son permanentes (están siempre emplazadas en el mismo lugar) y el otro 50% son móviles. Si caracterizamos esta industria respecto del tamaño, se tiene: producción anual superior a 100.000 m³ (grandes aserraderos) m³ y donde se concentra el 55% de la producción total, con 18 unidades, producción anual entre 10.000-100.000 (medianos aserraderos) con 92 unidades y producción anual inferior a 10.000 m³ (pequeños aserraderos) con 847 unidades. Una característica de la industria es que, la producción es inversamente proporcional al tamaño, es decir, pocos aserraderos grandes generan el mayor volumen y una gran cantidad de aserraderos pequeños generan una proporción menor. Otras características fundamentales de la producción chilena de madera aserrada son: el 76,8% se genera en los aserraderos localizados en tres regiones: Biobío, Maule y Ñuble y el 97,2% corresponde a

madera de pino radiata. Para el año 2019 el total de empleos directos en los aserraderos llegó a 15.941 personas, un 47,3% del empleo en la industria forestal primaria. (Gysling et al. 2020).

Características, obstáculos y efectos de la innovación en empresas del sector maderero:

La incorporación de tecnología y procesos de innovación se ha ido incrementando en el tiempo y es una necesidad para permanecer en los mercados globales y presiona a las empresas a introducir cambios en sus procesos industriales. Estudios realizados en el sector maderero muestran que los esfuerzos de innovación empresarial son individuales y no asociativos, basados principalmente en la adquisición y no en la investigación y desarrollo. Se verifica una falta de infraestructura de conocimiento que de soporte para iniciativas de innovación del sector. Lo anterior conlleva que, considerando las empresas estudiadas, hacen innovaciones que son nuevas “solo para la empresa” pero ya existen en el mercado (ejemplo incorporación de maquinaria o mejora de productos). Otro aspecto que se desprende de los resultados es el bajo nivel de asociatividad del sector, en donde más allá de pertenecer a alguna agrupación empresarial, no se observan iniciativas conjuntas para el desarrollo de innovaciones. (Monsálvez, C. 2017).

Poda en Pino Radiata:

En Chile, para la producción en la industria primaria del aserrío se utilizan principalmente rollizos de bosques cultivados de pino radiata. La eficiencia del proceso de aserrío está limitada principalmente por la aparición de defectos internos de los trozos, por ejemplo, nudos, bolsas de resina, pecas, grietas internas, entre otros. La mayor o menor presencia de estos defectos en la madera aserrada determinan el grado y la calidad y por defecto, el valor final del producto.

En la búsqueda de obtener madera de buena calidad, las empresas del rubro realizan un gran esfuerzo para atender las crecientes exigencias de los mercados internacionales. Es así como uno de los principales tratamientos silvícolas que aplican en la poda a los bosques de pino radiata, y así obtener fustes de mejor calidad. La Poda es un tratamiento silvícola en el cual se eliminan las ramas muertas o vivas del árbol. Posteriormente, con el crecimiento del árbol en su diámetro, se va cubriendo la zona del defecto, generándose así la valiosa madera libre de nudos, quedando confinada en una zona central la parte interna de estas ramas,

denominado cilindro nudoso (CN). Finalmente, el diámetro del CN depende del número de podas, edad del árbol al momento de la poda y de la calidad del sitio, entre otras variables. (Rojas & Ortiz, 2009; Corvalán, 2020).

Historia de la Tomografía Computarizada:

Antes de ver su aplicación en el rubro forestal, los orígenes de la TC se remontan a la investigación médica llevada a cabo por Sir Godfrey Hounsfield, fallecido el 12 de agosto de 2004. Con la TC, Hounsfield revolucionó la medicina, invento con el que ganó el Premio Nobel en 1979 y es considerado por muchos como uno de los aportes a la medicina moderna más importantes del siglo XX. Se desarrolló la investigación clínica necesaria para su aplicación plena, respondiendo a: características de las imágenes, cuándo y cómo utilizarla, sensibilidad de las imágenes, especialidad de distintas enfermedades o los diagnósticos diferenciales, entre otras. Los radiólogos, esperaron la investigación clínica necesaria, generando práctica clínica y haciendo difusión de los resultados mediante publicaciones en revistas, reuniones científicas, conferencias y simposios de Radiólogos. Un aporte significativo tuvo The Beatles, que, sin imaginarlo, financiaron las investigaciones de Hounsfield sobre la TC al ser la principal fuente de ingresos de EMI en los años 70. Fue así como los aportes de Hounsfield, los radiólogos, The Beatles y EMI lograron uno de los mayores aportes a la medicina moderna: la tomografía computarizada. (Hrescak & Socolsky, 2012).

Un escáner CT de alta velocidad para la industria de los aserraderos:

En los últimos años se ha avanzado en forma significativa en adaptar la TC para uso industrial, en particular la Empresa Microtec (Microtec es el proveedor de sistemas de escaneo y de optimización más fiable para aserraderos y empresas del ámbito maderero. Nosotros establecemos los estándares en el mercado desde 1980.), el 2011 ya estaba ad portas de disponer de los primeros equipos para uso en aserraderos modernos. Estos avances en las tecnologías de fuentes de rayos-x y el algoritmo exacto de haz cónico permiten el análisis de cada registro y junto al aumento continuo de la potencia computacional y los procesadores permite también la posibilidad de desarrollar algoritmos iterativos capaces de aumentar la calidad de imagen para el mismo nivel de ruido.

Los principales problemas restantes son la complejidad de los conjuntos de sensores necesarios, la alta potencia de rayos-x que se debe usar para pasar troncos grandes y la

dificultad mecánica de rotar un gran pórtico a la velocidad de 180 rpm. Problemas tecnológicos que ha resuelto Microtec. (Giudiceandrea & Ursella and Vicario, 2011).

Escáner CT de rayos X industrial:

El uso del primer escáner CT de rayos-x industrial aumenta el valor de recuperación de madera: estudio de caso sobre visual madera de abeto de Douglas con clasificación de resistencia:

Ya para el año 2017 fue posible demostrar, por primera vez, que el uso de un escáner CT de rayos-x industrial puede mejorar significativamente la recuperación del valor de la madera, preparando así la ruta para una nueva generación de líneas de aserrado. La tecnología CT es capaz de optimizar la recuperación de valor de los aserraderos, por ejemplo, elegir un ángulo de rotación de troncos que produce productos aserrados de mayor valor que el ángulo típico de curvatura hacia arriba. Dependiendo de la diferencia entre precios de los diferentes grados de producto, se puede obtener un incremento en el valor del producto aserrado entre 4 y 20%. Luego, los propietarios de aserraderos pueden beneficiarse del uso de un escáner CT. Se espera que el impacto de la optimización impulsada por CT sea aún más significativo si se consideran otras posibilidades, como la optimización de los paneles laterales o la selección de productos aserrados con diferentes dimensiones donde se aplican diferentes reglas de calidad. El escáner CT también puede detectar otras características internas de la madera (médula, fisura, bolsas de resina y corteza, madera de compresión) que podrían aumentar aún más el incremento de valor de cada tronco. (Rais et al, 2017)

Finalmente, y habiendo revisado las principales contribuciones que aportan o han aportado a la línea de trabajo de este proyecto, es posible indicar que una oportunidad de desarrollo se encuentra en la necesidad de una conceptualización con base cualitativa que permita analizar los factores y condiciones para determinar oportunidades mejora relacionados con el uso de la tecnología de rayos-x en la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados. Lo que autoriza la siguiente como contribución para este proyecto de grado.

1.3 Contribución del trabajo

Habiendo recorrido las bases teóricas fundamentales para este estudio, cabe mencionar que la principal motivación para realizarlo ha sido la necesidad de una conceptualización con base cualitativa que permita analizar los factores y condiciones de mejora relacionados con

el uso de la tecnología de rayos-x. Se propone entonces un plan de acción con base en análisis de factores y condiciones de mejora a través del uso de la tecnología de rayos-x en la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados. En este sentido contribuye a la comprensión de factores y condiciones de mejora relacionados con el uso de la tecnología de rayos-x.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, este trabajo considera los siguientes como objetivo general y objetivos específicos para este trabajo de tesis.

1.4 Objetivo general

Proponer un plan de mejoramiento, que considere análisis de factores y condiciones de mejora relacionadas con el uso de la tecnología de rayos-x para la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados.

1.4.1 Objetivos específicos

- Entrevistar informantes claves en la implementación y operación de la tecnología de rayos-x en la optimización del uso de rollizos podados.
- Analizar los factores y/o componentes posibles de mejorar para un mayor aprovechamiento del potencial de la tecnología de rayos-x.
- Proponer un cronograma de mejoras que incluya actividades, responsables y plazos (carta Gantt).

1.5 Propuesta metodológica

Paradigma y diseño: Se ha seleccionado la utilización de una metodología cualitativa, basada en entrevistas semiestructuradas (Díaz-Bravo et al, 2013) entendida como una actividad sistemática orientada a la comprensión en profundidad de la percepción de intervinientes frente al requerimiento de la comprensión de la percepción de la implementación, uso y oportunidades de mejora por parte de los informantes claves en la utilización de la tecnología de rayos-x en la optimización del uso de rollizos podados.

Población sobre la que se efectuará el estudio: Se utilizó un muestreo considerando trabajadores claves en la operación de tecnología de rayos-x en una de las principales

compañías forestales de Chile. El criterio de caso típico condujo a que se seleccionaran a los profesionales de planta de dicha compañía que participaron o participan en la implementación y operación de la tecnología de rayos-x, los que constituyen el 11% de la dotación de esta área y el 1,4% de la planta industrial. En total participaron 11 trabajadores, con una edad promedio de 42 años, con un máximo de 47 y un mínimo de 27 años. En promedio tenían 18 años de servicio, con un mínimo de 3 y un máximo de 26 años. De los cuales 73% eran profesionales de nivel técnico universitario o superior.

Entorno: El entorno seleccionado es una de las principales compañías forestales de Chile, con ventas por más de MMUS\$5.000 anuales, con presencia global (más de 4.600 clientes en los 5 continentes, oficinas comerciales en más de 30 países, con más de 50 instalaciones Industriales ubicadas en Chile, Argentina, Brasil, EEUU, Canadá, Uruguay, Alemania, España, entre otras), su objetivo es desarrollar productos que inspiran a crear soluciones destinadas a mejorar la vida de millones de personas en el mundo, estando presentes en el negocio forestal, celulosa, maderas, paneles y energía limpia y renovable. La planta industrial donde esta implementada la tecnología de rayos-x, dependiente de la gerencia de operaciones del negocio maderas, se encuentra emplazada en la VIII región-Chile, con una capacidad instalada de 400.000 m³ de madera aserrada y remanufacturada anual.

Intervenciones: Para el desarrollo de las entrevistas se utilizó como elementos de apoyo: un documento escrito que guiaba la discusión, en conjunto con una entrevista vía teams para interacción con los entrevistados, donde indicaban sus comentarios y preferencias y se utilizó para grabar las conversaciones. Las preguntas permitían guiar las entrevistas, siendo estas de carácter abierto. Las preguntas que guiaban las entrevistas se indican a continuación, las que se agrupan considerando tres etapas:

Etapas 1.- Caracterizar el presente y comprensión de la realidad

1.- ¿Cuáles han sido los impactos de la implementación de la tecnología de rayos-x en la clasificación de rollizos podados, en la operación, las personas y la organización en general?

2.- ¿Qué aspectos positivos y negativos considera Ud. que ha tenido el uso de esta tecnología?

3.- Desde su perspectiva ¿Cuál cree Ud. que es la evaluación del uso de esta tecnología en la organización (gerencia, directivos y operativos)?

Etapas 2.- Propuestas de alto impacto

- 4.- ¿Cuáles son los factores y/o variables claves a la hora de buscar oportunidades de mejora en el uso de esta tecnología?
- 5.- Tiene propuestas específicas de oportunidades de mejora en el uso de la tecnología de rayos-x para la clasificación y aprovechamiento de los rollizos podados?
6. ¿Quiénes son las personas o las áreas claves, y los recursos, que deberían participar?
7. ¿Cuáles son las acciones concretas que habría que tomar para la implementación de estas mejoras?

Etapas 3.- Alerta sobre las transformaciones

- 8.- ¿Qué dificultades visualiza para avanzar en un uso más intensivo de esta tecnología?
9. ¿Qué personas o áreas de trabajo podrían sentirse afectadas si implementamos estas mejoras? ¿cómo reaccionarían?
- 10.- ¿Qué recomendación para llevar a cabo las oportunidades de mejora a implementar?

Plan de análisis de los datos: se definieron categorías claves para las respuestas a las entrevistas en forma inductiva a fin de agrupar y analizar la información cualitativa. El análisis cualitativo se realizó en base al análisis de los contenidos de las 11 entrevistas, realizándose un análisis de frecuencia para facilitar el análisis descriptivo. A partir de estos análisis se propone un plan de mejoramiento en el uso actual de esta tecnología.

Ética: La metodología cualitativa utilizada, basada en entrevistas semiestructuradas, fue validada por los profesores de la asignatura “Metodología de proyecto contextualizado”, Srta. Ana María Abarca Moebis y el Sr. Daniel Soto Torres. El instrumento fue previamente piloteado para realizar los ajustes necesarios y adaptación al objetivo de la investigación. Los actores del estudio fueron invitados a participar en forma informada y voluntaria; garantizando medidas para mantener la confidencialidad de la información y validarla con los propios interesados. No se intentó influir en las respuestas, ni cambiar sus características individuales, ni implícita ni explícitamente. Para ser parte de la investigación no existió ofrecimiento de beneficio y se respetó la libertad de participar o no sin presión.

1.6 Organización y presentación de este trabajo

Este trabajo de grado se presenta en cuatro capítulos principales y se organiza de la siguiente forma:

Capítulo 1: Presenta el marco conceptual del proyecto, contextualizándolo, proponiendo objetivos y discutiendo desde la literatura la pertinencia del foco de la investigación, su contribución, y presentando a su vez un marco metodológico para su desarrollo e implementación.

Capítulo 2: Asociado a recogida de información, modelos y datos. También explicita resultados.

Capítulo 3: El proyecto de grado, se presenta en formato resumido en un artículo académico que se estructura de la siguiente manera:

1. Título
2. Resumen
3. Introducción
4. Metodología
 - a) Paradigma y Diseño
 - b) Población sobre la que se efectuará el estudio
 - c) Entorno
 - d) Intervenciones
 - e) Plan de análisis de los datos
 - f) Ética
5. Resultados
 - a. Análisis de los datos
 - b. Plan de mejoramiento propuesto
 - c. Discusión de resultados
 - d. Estrategia de evidencias científicas
6. Conclusiones
7. Referencias

Capítulo 4: Finalmente las conclusiones generales derivadas de este trabajo, y una dirección para la investigación futura, la cual considera aquellas preguntas no contestadas durante el desarrollo de este trabajo, se presentan en este capítulo.

Referencias bibliográficas

2 INFORMACIÓN Y RESULTADOS

Para abordar este trabajo de investigación se ha optado por una aproximación cualitativa, que permite considerar la siguiente estructura para la presentación de la información y sus análisis:

2.1 Procedimiento de recogida y análisis de datos

Esta investigación analiza, dentro de una empresa forestal-maderera, la implementación de tecnología de rayos-x y sus oportunidades de mejora en el aprovechamiento, clasificación y segregación de rollizos podados y como esta es percibida. Por tal motivo, se llevó a cabo en el año 2021 entrevistas con preguntas abiertas con la finalidad de recoger información para su posterior análisis. En particular se solicitó responder preguntas y temáticas, explicando sus ideas y respuestas con sus palabras.

El método utilizado en este estudio es de carácter descriptivo, dado que se miden y recolecta información de diferentes aspectos o dimensiones del elemento en la investigación.

Fechas en que se recogieron los datos:

De acuerdo con la disponibilidad de los participantes, se realizaron entrevistas entre el 20 de agosto de 2021 y 30 de septiembre de 2021. De los 11 entrevistados solo se realizó reagendamiento de 2 personas por temas de contingencia, las demás se realizaron según la confirmación original.

Coherencia con lo planificado:

Le entrevista propuesta inicialmente, debió ser modificada parcialmente desde el piloteo de la entrevista, modificando preguntas en sus etapas y eliminando algunas que ya estaban contenidas en otras, para hacerla más precisa y coherente.

Se aplicó el mismo instrumento a todos los intervinientes.

Fortalezas y debilidades del proceso:

Fortalezas:

- Proceso rápido
- Con consentimiento informado, y transparencia
- Proceso ético
- Bien recibido por la empresa y los participantes
- Permitted dar respuesta a la pregunta de investigación

Las debilidades propias de la investigación de contexto se circunscriben a:

- Para generalizar resultados, la muestra debe ser mayor
- Considerar otras empresas del rubro (interesadas en la tecnología de rayos-x)
- Analizar más exhaustivamente la utilización de otros instrumentos como encuestas, y/o métodos matemáticos-estadísticos

Población y muestras

Además de lo planteado en el marco metodológico, en la sección de población sobre la que se efectuará el estudio, donde se identifica la muestra, se hace notar que para la selección de participantes se utilizó una muestra no probabilística ya que se seleccionó a profesionales dentro de la organización porque se estimó que pudieran tener mayor conocimiento de la materia.

Instrumento.

Como se indicó anteriormente, para recoger información sobre el tema denominado tecnología de rayos-x en el aprovechamiento de fibra sin defectos en pino radiata, oportunidades de mejora, se utilizó el cuestionario con base en tres etapas. Este cuestionario que sirve en una primera instancia para lograr introducir al entrevistado sobre el tema de tecnología de rayos-x en el aprovechamiento de fibra sin defectos en pino radiata, oportunidades de mejora y su percepción respecto al mismo. Este instrumento consta de diez preguntas, todas respuestas abiertas, de la misma forma como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 1 – Cuestionario del instrumento

Fuente: elaboración propia

1. ¿Cuáles han sido los impactos de la implementación de la tecnología de rayos-x en la clasificación de rollizos podados, en la operación, las personas y la organización en general?
2. ¿Qué aspectos positivos y negativos considera Ud. que ha tenido el uso de esta tecnología?
3. Desde su perspectiva ¿Cuál cree Ud. que es la evaluación del uso de esta tecnología en la organización (gerencia, directivos y operativos)?
4. ¿Cuáles son los factores y/o variables claves a la hora de buscar oportunidades de mejora en el uso de esta tecnología?
5. ¿Tiene propuestas específicas de oportunidades de mejora en el uso de la tecnología de rayos-x para la clasificación y aprovechamiento de los rollizos podados?
6. ¿Quiénes son las personas o las áreas claves, y los recursos, que deberían participar?
7. ¿Cuáles son las acciones concretas que habría que tomar para la implementación de estas mejoras?
8. ¿Qué dificultades visualiza para avanzar en un uso más intensivo de esta tecnología?
9. ¿Qué personas o áreas de trabajo podrían sentirse afectadas si implementamos estas mejoras? ¿cómo reaccionarían?
10. ¿Qué recomienda para llevar a cabo las oportunidades de mejora a implementar?

Este cuestionario se aplicó como elemento de consulta durante las entrevistas personales realizadas, previo consentimiento informado. A partir de dichas instancias se provoca un espacio de conversación en relación con la preparación que tiene la organización respecto al uso de la tecnología de rayos-x, además de conocer cómo se entienden los factores posibles de mejorar con dicha tecnología.

2.2 Proceso de recogida de información

Como se ha indicado anteriormente, se aplicó un instrumento basado en una entrevista semi-estructurada, a través de un cuestionario de respuestas abiertas las que han permitido agrupar las respuestas por categorías claves, concentrando la información para analizarla posteriormente de forma cualitativa.

2.3 Los datos recogidos:

La agrupación de resultados por categorías claves, agrupando la información para su posterior análisis queda dada por la siguiente tabla.

Tabla 2 – Categorías de repuestas

Fuente: elaboración propia

Preguntas	Categorías
¿Cuáles han sido los impactos de la implementación de la tecnología de rayos-x en la clasificación de rollizos podados, en la operación, las personas y la organización en general?	<ul style="list-style-type: none"> _ Visualización interna de los rollizos. _ Temor, dudas de contaminación por rayos-x. _ Mejora en segregación de rollizos a terciados y aserradero.
¿Qué aspectos positivos y negativos considera Ud. que ha tenido el uso de esta tecnología?	<ul style="list-style-type: none"> _ (+) Mejor aprovechamiento de la fibra clear. _ (+) Facilitó el trabajo de los operadores. _ (+) Tener información de los manejos forestales (predio/rodal). _ (-) Trabajar con rayos-x por el peligro. _ (-) Lo hermético del sistema, monopolio del proveedor.
Desde su perspectiva ¿Cuál cree Ud. que es la evaluación del uso de esta tecnología en la organización (gerencia, directivos y operativos)?	<ul style="list-style-type: none"> _ Positiva mínimo _ Positiva con oportunidades _ Regular
¿Cuáles son los factores y/o variables claves a la hora de buscar oportunidades de mejora en el uso de esta tecnología?	<ul style="list-style-type: none"> _ Capacidad del escáner (velocidad / resolución / reportes / parametrización). _ Uso en otros productos&rollizos nudosos. _ Mejoras en la línea (layout). _ Uso de Información de CT-LOG en terciados y aserradero. _ Uso de información en área forestal.

¿Tiene propuestas específicas de oportunidades de mejora en el uso de la tecnología de rayos-x para la clasificación y aprovechamiento de los rollizos podados?	<ul style="list-style-type: none"> _ Uso posterior de información del CT-LOG. _ Modificar Layout (By pass sierras de trozado). _ Usar información para mejorar manejo silvícola. _ Up grade Scanner (mejorar resolución / velocidad / reportes / parametrización). _ Aplicar CT-LOG en otros productos&mercados.
¿Quiénes son las personas o las áreas claves, y los recursos, que deberían participar?	<ul style="list-style-type: none"> _ Equipo multidisciplinario. _ Equipo multidisciplinario + verdors.
¿Cuáles son las acciones concretas que habría que tomar para la implementación de estas mejoras?	<ul style="list-style-type: none"> _ Estudios de validación/prototipos. _ Reuniones de trabajo. _ Generar propuestas técnico-económicas. _ Priorizar ejecución de acuerdo a beneficios.
¿Qué dificultades visualiza para avanzar en un uso más intensivo de esta tecnología?	<ul style="list-style-type: none"> _ Altos costos de implementación. _ Regulación sanitaria para usarla. _ Con el escáner actual es suficiente. _ Alta dependencia del verdor.
¿Qué personas o áreas de trabajo podrían sentirse afectadas si implementamos estas mejoras? ¿cómo reaccionarían?	<ul style="list-style-type: none"> _ Operaciones _ Mantención _ Planificación _ Administración/Gerencia
¿Qué recomienda para llevar a cabo las oportunidades de mejora a implementar?	<ul style="list-style-type: none"> _ Equipos de trabajo. _ Estudios y evaluaciones. _ Generar un experto técnico. _ Salir de estatus quo.

2.4 Análisis e interpretación de los datos

A continuación, presentamos los resultados obtenidos para cada uno de los ítems considerados, incluyendo la información relevante para el logro del objetivo establecido.

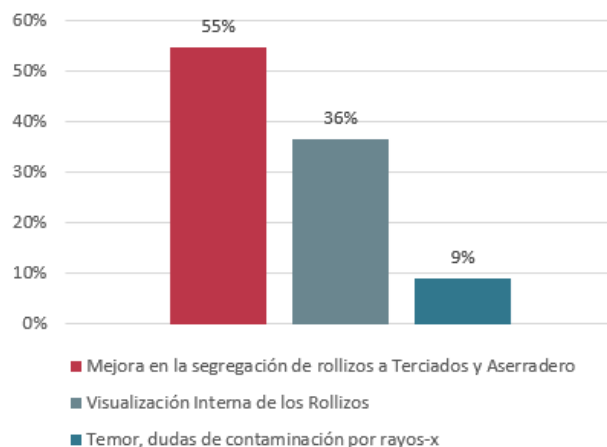
1.- ¿Cuáles han sido los impactos de la implementación de la tecnología de rayos-x en la clasificación de rollizos podados, en la operación, las personas y la organización en general?

Al revisar los resultados generales de los entrevistados (ver figura 1), en la primera pregunta nos encontramos que, un 55% ha observado una mejora en la segregación de rollizos a terciados y aserradero, los entrevistamos comentan: entrevistado 4 “El CT-LOG generó un

gran impacto en la segregación de rollizos podados a terciados y aserradero, se logró direccionar la fibra hacia el proceso que genera mayor valor”, otro entrevistado nos dice: entrevistado 6 “El CT-LOG ha generado un alto impacto en la maximización del negocio corporativo al mejorar la clasificación a terciados y aserradero, maximizando la fibra clear” en línea con lo anterior, un 36% considera que ha impactado positivamente en una mejor visualización interna de los rollizos, dice el entrevistado 1 “Fue un gran avance ver al interior de los rollizos, antes optimizábamos todo con la vista. Ahí nos cambió la vida”, otro entrevistado comenta: entrevistado 2 “Operacionalmente es una ayuda tremenda, antes clasificábamos solo al ojo y cometíamos muchos errores, ahora es mucho más fácil y efectivo. Ahora el CT-LOG lee. La manera antigua es muy compleja, nos acostumbramos a la nueva tecnología”, no obstante, los aspectos positivos indicados por la mayoría de los entrevistados encontramos aspectos de atención asociados a los riesgos del uso de la tecnología de rayos-x, identificados como temor, dudas de contaminación por rayos-x en un 9% de los entrevistados, nos comenta el entrevistado 3 “en un principio hubo preocupación por la salud de los trabajadores, temor por los rayos-x, por la contaminación. Con el tiempo fue pasando por las capacitaciones, uso de dosímetros, pantallas de seguridad y distancias seguras”.

Figura 1: Impactos de la tecnología de rayos-x

Fuente: elaboración propia



2.- ¿Qué aspectos positivos y negativos considera Ud. que ha tenido el uso de esta tecnología?

Al analizar los resultados un 82% de los entrevistados manifiesta aspectos positivos por incorporación de esta tecnología, donde un 64% indica como muy positivo el mejor aprovechamiento de la fibra clear y comentan: entrevistado 7 "La fibra se aprovecha de mucho mejor forma. Antes se escapaba fibra, ejemplo en aserradero se perdía manto clear y hoy se va a paneles y a la inversa ocurría el mismo efecto", el entrevistado 9 "Mejor aprovechamiento de la fibra clear para terciados y aserraderos. Se fue aprendiendo en el camino y aplicando distintas configuraciones para aprovechar de mejor manera", también un 9% de los entrevistados indica que facilitó el trabajo de los operadores, tal como comenta el entrevistado 6 "facilitó el trabajo a los operadores al entregar control al CT-LOG, antes sólo contábamos con la forma externa del rollizo y la clasificación era visual, ahora es la tecnología que realiza esta labor", otro 9% indica como positivo tener información de los manejos forestales (predio/rodal) como dice el entrevistado 4 "Ha sido muy positivo el aporte de la información forestal de los rollizos, al poder analizar el impacto de las podas por predio/rodal y su manejo forestal". Por otro lado, un 18% manifiesta aspectos negativos asociados a la implementación de la tecnología de rayos-x, donde un 9% indica el peligro de trabajar con esta tecnología, dice el entrevistado 2 "Un aspecto que resultó negativo al principio fue el peligro de trabajar con rayos-x, más precaución, no arriesgarse. Con el tiempo fue pasando por mayor conocimiento de su funcionamiento y las medidas implementadas", otro aspecto negativo considerado por un 9% de los entrevistados es lo hermético del sistema, un monopolio del proveedor, el entrevistado 11 comenta "Yo pienso que un aspecto negativo de la tecnología implementada es lo hermético de esta tecnología para la mantención y solo pueden intervenir los vendors (proveedores), hay un monopolio del proveedor".

3.- Desde su perspectiva ¿Cuál cree Ud. que es la evaluación del uso de esta tecnología en la organización (gerencia, directivos y operativos)?

Respecto esta pregunta es clara una percepción positiva del uso de esta tecnología, donde un 45% de los entrevistados encuentra como mínimo positiva su evaluación y comentan: entrevistado 3 "Yo creo que todos deben estar muy contentos, poder ver por dentro los

rollizos, a mí me paso que pensé ¿quién va a poder ver por dentro los rollizos?, es más amigable su uso operacional", también comenta el entrevistado 7 "Existe una buena evaluación ya que se justificó la inversión, otros actores del rubro desean disponer de esta tecnología ya que ha dado buenos resultados" y el entrevistado 10 dice "Sin duda es positiva, pero no es para cualquier planta, uso super focalizado a cierto tipo de materia prima. Mejora cumplimiento cliente y mejores utilidades", en la misma línea un 45 % de los entrevistados igual encuentra positiva la evaluación de la tecnología, pero coincide que tiene oportunidades de mejora y comentan: entrevistado 4 "Evaluación positiva cada vez que tuvimos visitas de gerentes, al ver el potencial que tiene, ver el trozo por dentro, mucha información. Logro su objetivo: dejar los rollizos podados mejor posicionados según su aptitud de uso, menor consumo de podados en terciados y diferencial a aserradero. Quedamos al debe con sacar mejor provecho ya que entregó buenas acciones con forestal y ver cómo hacer mejor los futuros manejos forestales. Con el aserradero se espera mucho más" también comenta el entrevistado 9 "Sensación que existe una positiva evaluación por el resultado en terciados y creo que falta sacarle mayor provecho en aserradero. A nivel global positivo, pero a nivel local cierta insatisfacción por el nivel de uso, ya que existen oportunidades de mayor precisión y aprovechamiento" y llama la atención que un 9% considera menos que positiva la evaluación de esta tecnología, en un nivel regular y comenta el entrevistado 8 "Gerencia hacia arriba es alta, pero hacia abajo no lo veo con tanto conocimiento de las bondades del CT-LOG, baja evaluación, nosotros podríamos sacarle mucho mayor provecho, es una enorme tecnología, falta mejorar flujos de necesidades e información que permitiría sacar mucho más provecho".

4.- ¿Cuáles son los factores y/o variables claves a la hora de buscar oportunidades de mejora en el uso de esta tecnología?

Al preguntar a los entrevistados nos encontramos que un 45% considera que es importante avanzar en la capacidad del escáner, velocidad de procesamiento, resolución, parametrización y reportabilidad, el entrevistado 3 comenta: "Mayor velocidad de procesamiento de 6,3 roll/min, limitante son las sierras. El uso de la densidad detecta metales y en la práctica no es así, confunde, que sea más preciso ya que esto implica reprocesar volumen que no es necesario. Aproximadamente 1.000 a 1.200 m³/mes. 1% del volumen

total ", el entrevistado 5 "yo creo que uno de los factores claves es entender bien cómo funciona, trabajar con el vendor y generar una gran base de datos que nos entregue información para mejor toma de decisiones" y el entrevistado 11 complementa "yo creo que en la flexibilidad, en la parametrización y en la automatización de la optimización, hoy solo entrega opciones pero, el operador elige la opción y en la parametrización es muy básico", luego un 18% de los entrevistados considera importante utilizar esta tecnología en el uso de otros productos o en rollizos regulares, el entrevistado 10 dice "Oportunidad para adecuar materia prima a requerimientos futuros del mercado, explorar uso para estructural, para rollizos regulares", también un 18% indica como oportunidad usar la información del CT-LOG en terciados y aserradero, el entrevistado 4 comenta "Aprovechar la lectura del CT-LOG y utilizarla posteriormente en aserradero y terciados: en la forma como aserradero optimiza los cortes y el centro geométrico del debobinado de los rollizos en terciados", en línea con las oportunidades de mejora un 9% considera que se pueden hacer mejoras en la línea, en el layout y el entrevistado 2 indica "Para mayor aprovechamiento del escáner es posible hacer una línea continua para algunos productos, evitando las sierras de trozado y así pasar más rollizos por minuto" y por último un 9% considera que se podría usar la información del CT-LOG en el área forestal, el entrevistado 7 dice "Se podrían realizar estudios en conjunto con forestales para determinar índices de sitio y mejorar manejos forestales, se podrían estudiar los anillos de crecimiento y ver evolución del clima, investigación aplicada".

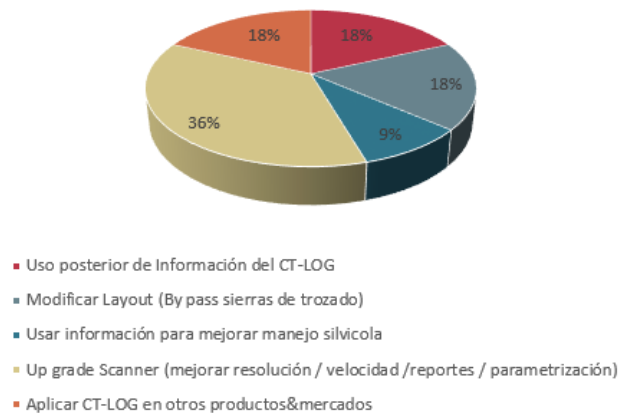
5.- ¿Tiene propuestas específicas de oportunidades de mejora en el uso de la tecnología de rayos-x para la clasificación y aprovechamiento de los rollizos podados?

Al consultar a los entrevistados por propuestas específicas de oportunidades de mejora (ver figura 2), se rescata que un 36% considera que se debe hacer un Up Grade al escáner para mejorar aspectos como velocidad de procesamiento, resolución, parametrización y reportabilidad, comenta el entrevistado 1 "Correr a una mayor velocidad v/s calidad de lecturas por la capacidad del escáner, esto por la diferencia entre la medición de la densidad, la potencia y/o cantidad de lámparas para mejorar la precisión" y dentro de este Up-Grade un aspecto crítico a abordar es automatizar la decisión, tal como indica el entrevistado 7 "trabajar con el vendor y que presenten solución técnica y propuesta económica de que la opción de optimización la tome el software y no los operarios, actualmente entrega hasta la

propuesta", se destaca que un 18% de los entrevistados propone utilizar esta tecnología para otros productos y/o mercados y no solo usarla en lo ya conocido, al respecto el entrevistado 8 opina: "Orientación de rollizos no necesariamente al mayor rendimiento, sino al mercado. El mercado muy cambiante y se podría hacer que el CT-LOG optimice por demanda y orientar producciones y stock" en la misma línea el entrevistado 10 comenta "Utilizar rayos-x para madera estructural, quitar rollizos de buen internudo a terciados para aserradero lo que implicaría usar el CT-LOG con rollizos regulares", otro 18% considera que es posible utilizar la información del CT-LOG para obtener mejores resultados en procesos posteriores de terciados y aserradero, el entrevistado 1 sugiere "trabajar con un escáner similar de rayos-x en aserradero, volver atrás y pesquisar los datos del CT-LOG. Traspasar directo o instalar un escáner de rayos-x en la entrada de aserradero" también el entrevistado 5 propone "mejorar la capacidad de procesamiento, colocarle más sensores para mejorar la captura y defectos que no detecta bien, el fin de nudo y donde comienza el clear" y el entrevistado 9 complementa "El CT-LOG entrega estimación de índice clear y en aserradero se usa otra tecnología para optimizar los cortes por lo que no se logra el mismo resultado". Otra propuesta de alto impacto esta referida a una modificación en el layout de los transportadores asociados al escáner, donde un 18% de los entrevistados considera que aportaría positivamente en una mejora en el aprovechamiento de la capacidad del CT-LOG, el entrevistado 3 propone "modificar transportador principal y unirlo al transportador simple lo que evitaría detenciones de la estación principal para productos terminados, unirlos y queda con un by pass para las sierras de trozado", una última oportunidad de mejora a abordar con un 9% de los entrevistados de acuerdo, está relacionada con disponibilizar y usar la información del CT-LOG para mejorar el manejo silvícola.

Figura 2: Oportunidades de mejora

Fuente: elaboración propia



6.- ¿Quiénes son las personas o las áreas claves, y los recursos, que deberían participar?

Al revisar las respuestas de los entrevistados es posible identificar que un 100% coincide que debe ser un equipo multidisciplinario quien debe abordar el desarrollo de estas oportunidades de mejora, equipo que incluye a operaciones, mantención, mejora continua, proyectos, planificación y donde se identifica una diferencia es: un 45% de los entrevistados indica que debe ser un equipo multidisciplinario interno y un 55% de los entrevistados considera que se debe incluir al proveedor en el desarrollo de las mejoras, también es importante destacar el hecho de considerar a quienes trabajan directamente con el sistema, tal como indica el entrevistado 2 "Pienso que debe ser un equipo multidisciplinario que incluya a los operadores, ya que cuando se hacen proyectos o mejoras no siempre nos hacen participar y nuestra opinión es muy importante para el éxito de estas iniciativas".

7.- ¿Cuáles son las acciones concretas que habría que tomar para la implementación de estas mejoras?

Al analizar las respuestas de los entrevistados es posible identificar varias acciones que se requieren para concretar las oportunidades de mejora identificadas, en primer lugar un 36% indica que se necesita realizar estudios y prototipos de validación ya que es un insumo fundamental para generar los beneficios de implementar estas mejoras y posteriormente

realizar las propuestas técnico-económicas, comenta el entrevistado 10 "Para llevar adelante las iniciativas es necesario programar estudios, ejecutar estos estudios, evaluar los resultados, hacer iteraciones si se requiere, analizar y presentar para tomar decisiones", luego un 27% de los entrevistados coincide en que se requiere hacer reuniones del equipo de trabajo para priorizar los estudios, evaluaciones, coordinar las acciones y tareas necesarias para concretar las oportunidades de mejora, tal como opina el entrevistado 8 "Hacer reuniones de trabajo del equipo y decantar ideas priorizadas. Definir líder que genere Gantt y controle los avances". En línea con lo anterior, un 18% de los entrevistados opina que deben generarse las propuestas técnico-económicas que permitirán justificar las inversiones y solicitar los recursos que se requieren para ejecutar las mejoras propuestas por el equipo y finalmente un 9% de los entrevistados considera clave priorizar la ejecución de acuerdo con los beneficios de cada iniciativa, comenta el entrevistado 9 "Todo este trabajo del equipo debe permitir justificar las inversiones. Luego los proyectos caerían en planes de inversiones de la Planta, priorizando su ejecución en el plan trianual de proyectos 2022-2024".

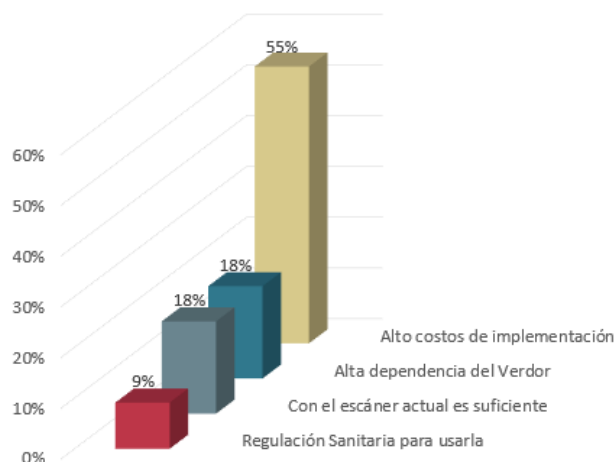
8.- ¿Qué dificultades visualiza para avanzar en un uso más intensivo de esta tecnología?

Al analizar los resultados es posible ver que un alto porcentaje de los entrevistados (ver figura 3), un 55%, considera que una barrera importante para avanzar en el uso de esta tecnología son los altos costos de implementación, más allá de las dificultades técnicas que ya se han resuelto y estos altos costos requieren buenas evaluaciones para asegurar su financiamiento, el entrevistado 9 comenta "Yo creo que técnicamente no hay muchas dificultades, las veo por el lado económico, la inversión es alta pero los beneficios también son altos, falta atreverse, estamos súper pegados con lo tradicional" y en la misma línea nos dice el entrevistado 10 "Sin duda que los costos de inversión son altos y esto limita las posibilidades de desarrollo en la medida que estas inversiones se deben pagar y se busca beneficios y/o proyectos de retornos rápidos por lo inestable de los mercados". Hay un 18% de los entrevistados que piensa que no se avanza más con esta tecnología porque con la capacidad instalada actual es suficiente para lo que se necesita, ya sea por productos y/o mercados o por disponibilidad de materia prima, el entrevistado 3 indica "yo pienso que con el CT-LOG actual es suficiente para las necesidades, otras plantas no requieren esta

tecnología" y comenta el entrevistado 11 "yo creo que hay limitada disponibilidad de materia prima, porque en un gran porcentaje del tiempo la decisión la toma forestal por balance de las líneas y por la disponibilidad de palos podados", también existe un 18% de los entrevistados que considera que no se avanza más porque hay una alta dependencia del proveedor lo que limita las posibilidades de ampliar su uso y buscar otras aplicaciones, no es posible hacer conversar distintos sistemas lo que dificulta un mayor uso de la tecnología y aprovechar las sinergias, nos comenta el entrevistado 4 "Yo visualizo una dificultad mayor en la dependencia del vendedor. Contrato de mantención y ciertas visitas muy cerradas no traspasando conocimiento, esto impide ampliar su uso a otras plantas/procesos" y complementa el entrevistado 6 "Existe una alta dependencia del vendedor y hacia adelante los escáner y software son de otras empresas y no conversan entre sí, esto impide un avance en el uso de los rayos-x", por otro lado un 9% de los entrevistados cree que una barrera para un uso más masivo de esta tecnología tiene que ver con la regulación sanitaria, ya que su uso requiere implementaciones de seguridad y control permanente de la autoridad sanitaria, nos comenta el entrevistado 1 "Yo creo que es una restricción la regulación sanitaria que requiere altos niveles de seguridad e implementación de medidas y control de seremi de salud en forma regular" .

Figura 3: Barreras en el uso

Fuente: elaboración propia



9.- ¿Qué personas o áreas de trabajo podrían sentirse afectadas si implementamos estas mejoras? ¿cómo reaccionarían?

Al analizar las respuestas de los entrevistados es posible detectar que un 45% piensa que quienes se verían afectados son personas del área operacional, ya que al implementar estas mejoras se genera incertidumbre por los puestos de trabajo, aunque igual al ser personal altamente capacitado tendría opciones de reubicación, nos comenta el entrevistado 2 "Se puede generar incertidumbre en la línea directa de operaciones, se puede generar ajustes de dotación que afecta la convivencia y queda un sentimiento de temor, que siempre está. Igual pienso que personas altamente capacitadas siempre son reubicadas". Un 18% de los entrevistados piensa que habría efectos en el área de mantención, situaciones asociadas a los cambios y mayor especialización con tecnología de punta, tal como comenta el entrevistado 7 "Puede existir resistencia al cambio en personal de mantención, pero a la larga se requerirá personal más especializado y eso es muy positivo, poder estar a la altura de la última tecnología", también se encuentra que un 18% de los entrevistados considera que se verá afectada positivamente el área de planificación y que al implementar estas mejoras tendrán efectos positivos en su gestión, nos comenta el entrevistado 10 "En planificación tendría un efecto muy positivo por mejor aprovechamiento y generación de productos clear, lo que requerirá mayores niveles de coordinación con operaciones por mayor segregación y direccionamiento de la fibra" y finalmente hay un 18% de los entrevistados que piensa que afectará positivamente a la Gerencia de la Empresa y Administración de la Planta por las mejoras en el margen y la rentabilidad del negocio, tal como nos comentan el entrevistado 6 "con estas mejoras/proyectos los más felices serían los dueños y jefes, ya que mejora el margen de negocio" y el entrevistado 9 "yo pienso que tendría un efecto muy positivo en la gerencia por los impactos positivos en la rentabilidad".

10.- ¿Qué recomienda para llevar a cabo las oportunidades de mejora a implementar?

De las respuestas recogidas, un 45% de los entrevistados considera importante que se genere un equipo de trabajo que lleve adelante estas iniciativas de mejora y que no esté en la contingencia diaria para un correcto desarrollo y se implementen en un plazo adecuado, además destacan el hecho de considerar al personal operativo en el desarrollo, nos comenta el entrevistado 5 "Yo creo que tendría que generarse un equipo que no estuviera en la

contingencia y estuviera en las oportunidades de mejora, definir un equipo y llevarlo a cabo lo más rápido posible y recuperar estas oportunidades", existe un 27% de los entrevistados que encuentra clave el realizar estudios y evaluaciones, esto para determinar los potenciales a lograr y así generar las evaluaciones técnico-económicas que permitan justificar las iniciativas de mejora, así como también mirar en un horizonte de largo plazo, comenta el entrevistado 3 "Es clave hacer pruebas de campo para comparar lo que hacemos y lo que lograríamos, hacer estudios en colocar números para hacer evaluaciones técnico/económicas y justificar las inversiones" y en la misma línea comenta el entrevistado 6 "Hacer estudios para donde va el mercado, ¿para qué queremos el CT-LOG?, ejemplo construcción de edificios, tipo estructural. No necesariamente quedarse con la idea original, ver 10 a 15 años más", por otro lado hay un 18% de los entrevistados que encuentra importante salir del statu quo y buscar nuevas oportunidades para esta tecnología, nos comenta el entrevistado 10 "Salir del statu Quo, la organización muy tranquila y eso puede dejar de buscar oportunidades salir a buscar más de lo que está entregando hoy, que se vaya empujando alineado con lo que se está buscando en la organización estar revisando permanentemente parámetros, largos, configuraciones", finalmente llama la atención un aspecto no mencionado anteriormente y que el 9% de los entrevistados considera se debiera generar un experto técnico local que permita aprovechar de mejor manera el potencial de esta tecnología y no depender tanto del vendor, como comenta el entrevistado 8 "Yo recomendaría una capacitación de una persona que más se maneje, ya sea interno o externo, pero de Chile, en la mesa de trabajo y no depender exclusivamente del vendor".

2.5 Plan de mejoramiento propuesto

Identificadas las variables y/o componentes posibles de mejorar en el uso de la tecnología de rayos-x en la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados, se propone el siguiente plan de mejoramiento con base en un equipo de trabajo multidisciplinario y cinco factores (ver figura 4), donde cada uno representa un ámbito de mejora del plan de mejoramiento (cronograma detallado en la figura 5). Es así como un primer aspecto corresponde a las mejoras posibles de realizar en el propio escáner de rayos-x, luego aparece un segundo aspecto relacionado con el entorno del escáner asociado a mejoras en el layout que permiten un mejor aprovechamiento del equipo. Sigue luego un tercer aspecto

relacionado con el uso de la información que genera el escáner de rayos-x y que es posible utilizar en los procesos posteriores de terciados y aserradero. Un cuarto ámbito de mejora es aprovechar el potencial en buscar nuevos productos&mercados y finalmente un quinto aspecto a abordar es usar la información generada para mejorar los manejos forestales y otras aplicaciones a explorar en el área Forestal.

Figura 4 – Factores de mejoramiento

Fuente: elaboración propia



2.6 Discusión de resultados

Respecto de los resultados obtenidos al explorar la etapa de caracterización del presente y comprensión de la realidad, los entrevistados concuerdan que la implementación de esta tecnología ha impactado positivamente al resolver en forma industrial la visualización interna de los rollizos.

Esto se traduce en un mejor aprovechamiento de la fibra clear, al permitir una segregación por aptitud de uso en terciados o aserradero. Lo anteriormente expuesto coincide con lo planteado por (Rais et al, 2017), quien expone que la tecnología CT es capaz de optimizar la recuperación de valor de los aserraderos, por ejemplo, elegir un ángulo de rotación de troncos que produce productos aserrados de mayor valor que el ángulo típico de curvatura hacia arriba. Dependiendo de la diferencia entre precios de los diferentes grados de producto, se puede obtener un incremento en el valor del producto aserrado entre 4 y 20%. Luego, los propietarios de aserraderos pueden beneficiarse del uso de un escáner CT. Se espera que el

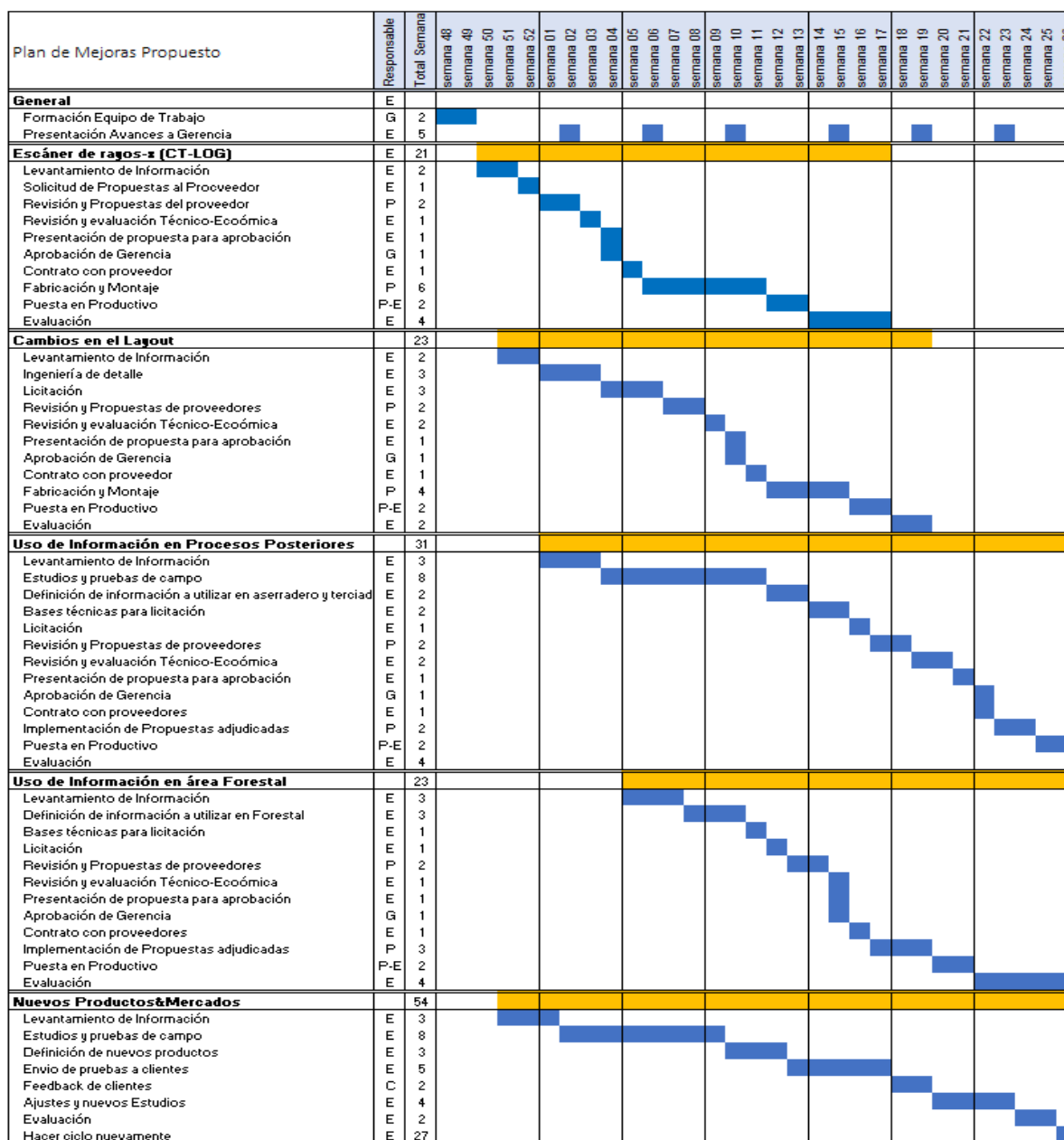
impacto de la optimización impulsada por CT sea aún más significativo si se consideran otras posibilidades, como la optimización de los paneles laterales o la selección de productos aserrados con diferentes dimensiones donde se aplican diferentes reglas de calidad. El escáner CT también puede detectar otras características internas de la madera (médula, fisura, bolsas de resina y corteza, madera de compresión) que podrían aumentar aún más el incremento de valor de cada tronco. Por otro lado, los entrevistados dan a conocer otros aspectos interesantes del uso de esta tecnología, como: facilitó el trabajo de los operadores, ya que antes se hacía una clasificación al ojo, estimando zonas clear, lo que cambió significativamente, al ser ahora el escáner quien provee esta información. Permitió también disponer de información para uso del área forestal, como índices de calidad por predio/rodal. Considerando los aspectos positivos anteriormente expuestos, también es posible rescatar de los entrevistados algunos aspectos no tan positivos como el riesgo asociado de trabajar con esta tecnología, lo que se comprende hoy de mejor forma por las medidas implementadas y mayor conocimiento del personal que interactúa en el área, así también como un hermetismo del proveedor de esta tecnología lo que impide un mayor desarrollo y/o aprovechamiento de esta. Finalmente, como se indicaba al principio, un alto porcentaje de los entrevistados coincide en los aspectos positivos de esta tecnología, sin embargo, alrededor del 50% considera que existen oportunidades de mejora. Para abordar las brechas detectadas se propone generar un equipo de trabajo para disponer de profesionales de distintas áreas de la empresa que recopilen la información clave para posteriores evaluaciones de mejora. Realizar los estudios y pruebas de campo para la confección de evaluaciones técnico-económicas que permitan las aprobaciones de la gerencia. Luego incorporar los proyectos en el plan general de la planta para su ejecución de acuerdo con las prioridades y retornos esperados.

De la etapa de propuestas de alto impacto, según los entrevistados, es posible abordar distintas oportunidades de mejora, algunas directamente sobre la tecnología de rayos-x y otras relacionadas con uso de la información, modificaciones de layout, usos posteriores de la data generada y explorar nuevos productos y/o mercados. Un primer aspecto que abordan los entrevistados es la posibilidad de mejorar el escáner de rayos-x en la capacidad que este tiene instalada (velocidad, resolución, reportes y parametrización), esto considerando que

este equipo fue fabricado en 2012 y por los años que han pasado y los avances de la tecnología hoy es posible obtener mayores prestaciones en los aspectos indicados con un up-grade.

Figura 5 – Cronograma de mejoras

Fuente: elaboración propia



Lo anterior está muy en línea con lo planteado por (Giudiceandrea & Ursella and Vicario, 2011) de cómo se han ido resolviendo los problemas tecnológicos por el proveedor Microtec.

Junto a lo anteriormente planteado se rescata de las propuestas de los entrevistados que es posible realizar mejoras en el layout que permitirían un mejor aprovechamiento del escáner al hacer una ruta directa a productos que no necesitan trozado y evitar este centro, permitiendo así procesar un mayor volumen de rollizos. Existe también una oportunidad latente de usar la data generada por el escáner en los procesos posteriores de terciados y aserradero, haciendo la trazabilidad de estos datos que permitiría optimizar aún más el uso de los rollizos podados y obtener un mayor aporte del CT-Log, esto es aprovechando el centro geométrico en terciados y el giro en aserradero para cortar en la posición óptima, de acuerdo con el mayor valor de los productos. También los entrevistados hacen ver la oportunidad de mejorar los manejos forestales al utilizar los datos que rescata el escáner y correlacionar los resultados por predio/rodal para generar manejos direccionados y con mejores resultados futuros y finalmente comentan los entrevistados que existe un potencial de buscar nuevos productos y/o mercados aprovechando el potencial del escáner y direccionar la materia prima desde el CT-Log, este es un aspecto potencial que siempre ha estado latente pero no se ha explorado en profundidad y se ha utilizado el equipo solo de acuerdo al plan original. Los entrevistados están de acuerdo que necesita generar un equipo de trabajo, se dividen las opiniones entre quienes consideran que este equipo debe ser interno y quienes piensan que debe participar el verdor del equipo, donde probablemente se requiera una situación intermedia, donde en algunos temas participará el vendor y en otros solo serán personas internas de la organización. Los entrevistados coinciden que es necesario transformar estas ideas y planteamientos de mejora en acciones que permitan el resultado esperado, proponiendo estudios, reuniones de trabajo, generar las propuestas técnico-económicas y priorizar la ejecución y seguimiento de estas tareas. Para abordar las brechas detectadas se propone generar un plan de trabajo para disponer de una ruta de trabajo con los aspectos a considerar, las tareas a realizar y los plazos y responsables.

Con respecto a la etapa de alerta sobre las transformaciones esta investigación detectó que una de las principales restricciones para un uso más intensivo en la industria de la madera, de la tecnología de rayos-x, es su elevado costo, no obstante que se entiende los grandes beneficios que conlleva, lo que coincide con lo indicado por (Rais et al, 2017) el uso de un escáner CT de rayos-x industrial puede mejorar significativamente la recuperación del valor de la madera, allanando así el camino para una nueva generación de líneas de aserrado. La

tecnología CT es capaz de optimizar la recuperación de valor de los aserraderos, por ejemplo, elegir un ángulo de rotación de troncos que produce productos aserrados de mayor valor que el ángulo típico de curvatura hacia arriba. Dependiendo de la diferencia entre precios de los diferentes grados de producto, se puede obtener un incremento en el valor del producto aserrado entre 4 y 20%, lo que llevado a evaluaciones técnico-económicas deja en evidencia su potencial de uso y factibilidad de conseguir los recursos necesarios. Si bien el costo fue la respuesta más mencionada como restricción para el uso más intensivo de esta tecnología, los entrevistados indicaron otros motivos que también afectan en un uso más intensivo, dentro de estos, que, para las necesidades actuales, con el este escáner es suficiente, esto no considera sus potencialidades como por ejemplo nuevos productos o mercados. El alto grado de hermetismo del proveedor, y entendiendo que es una tecnología nueva en este rubro (forestal) impide mayores desarrollos locales sin tener que recurrir cada vez al vendor, con los costos y tiempos que esto implica y otro aspecto es la relación de control de la autoridad sanitaria.

También se le consultó a los entrevistados por áreas o personas que pudieran verse afectadas por la incorporación de mejoras en el uso de esta tecnología, donde es posible detectar que el área con mayor incidencia sería la operativa, y aunque los entrevistados comentan la situación de incertidumbre que generan los avances tecnológicos, también señalan que es personal altamente calificado y tendrá espacio dentro de la organización, lo que está en línea por lo planteado por (Hernández, 2021): si bien los cambios no son fáciles, dependen de la aceptación de las personas, quienes son las directas hacedoras en las empresas. Junto con el área operativa, para el área de mantención también existen desafíos, pero se menciona como positivo estar a la altura de la mejor tecnología disponible. Un aspecto interesante que mencionan los entrevistados son los positivos efectos en las áreas de planificación, al disponer de mejor información para la toma de decisiones en la Administración/Gerencia por los positivos resultados en el negocio que generan las oportunidades de mejora del uso de esta tecnología, tal como indica (Rais et al, 2017): “Ya para el año 2017 fue posible demostrar, por primera vez, que el uso de un escáner CT de rayos X industrial puede mejorar significativamente la recuperación del valor de la madera”.

Al analizar las recomendaciones entregadas por los entrevistados para abordar el proceso de implementación de mejoras detectadas en el uso de esta tecnología la mayor frecuencia de ellos (45%) comenta que se debe generar un equipo multidisciplinario de trabajo. Un aspecto fundamental es realizar los estudios y evaluaciones que permitan determinar los impactos y justificar las iniciativas de mejora. Otros aspectos interesantes que mencionan los entrevistados es salir del statu quo y buscar nuevas oportunidades de mejora a lo ya existente y generar un experto local, dentro de la organización o en el país, ya que así se bajaría la dependencia del proveedor y permitiría mayores desarrollos locales. Para abordar las brechas detectadas se propone fomentar la formación continua y autoaprendizaje, entendiendo la naturaleza cambiante de los avances tecnológicos, para el uso del máximo potencial de la tecnología de rayos-x y la correcta comprensión de los alcances y limitaciones por parte del personal que interactúa directa o indirectamente con ella.

2.7 Estrategia de evidencias científicas

Con el fin de poner en evidencia las estrategias adoptadas y entregar rigor científico a este trabajo, durante este proceso se ha utilizado:

Triangulación de informantes: mediante la participación de distintas personas relacionadas con el uso de la tecnología de rayos-x, y dando foco en: su conocimiento, injerencia e involucramiento respecto al tema estudiado.

Triangulación de técnicas y fuentes: se utilizaron diferentes fuentes y técnicas para la recolección de los datos presentados en la investigación. Los principales recursos han sido entrevistas y artículos de revistas científicas indexadas, además de obtener información de informes de consultoras y seminarios asociados al tema investigado y se tuvo contacto con proveedores de estos equipos para conocer desarrollos actuales.

Criterio del valor de verdad: para disminuir el sesgo del experimentador al máximo, protegiendo así la validez de la investigación, se vela porque los datos levantados reflejen la realidad estudiada lo más fielmente posible.

Comentario de pares y comprobaciones con los participantes: en el desarrollo de la investigación se ha compartido con actores relevantes los resultados, siendo ellos a su vez

participantes del mismo. Rol clave que permite poner en perspectiva las reflexiones, conclusiones y propuestas emanadas de los datos recolectados.

3 ARTÍCULO

El presente apartado, recoge la investigación contextualizada motivo de este proyecto de grado, y es presentada en formato de artículo académico. Se trata de un artículo conciso, escrito en el formato típico de revistas especializadas o de conferencias, de acuerdo con reglas específicas definidas por la dirección del programa.

El artículo, ha sido cuidadosamente redactado con el fin de que se haga fácilmente entendible y logre expresar de un modo claro y sintético lo que se pretende comunicar, considerando las citas y referencias respectivas de los estudios que lo fundamentan. El trabajo realizado, se sintetiza entonces como artículo, para facilitar al trabajo de quienes puedan estar interesados en consultar la obra original.

Este trabajo, considera y discute, a través de un proyecto aplicado, desarrollado en un contexto de realidad profesional, la integración de herramientas y conocimientos que se han adquirido en las líneas de desarrollo del programa. Lo que se consolida en una investigación profesional contextualizada a la realidad profesional que se expone, la que se relacionada con líneas y ámbitos específicos abordados en el plan de estudios del programa, permitiendo integrar, de manera adecuada, los conocimientos teóricos y metodológicos desarrollados en él.

TECNOLOGIA DE RAYOS-X EN EL APROVECHAMIENTO DE FIBRA SIN DEFECTOS EN PINO RADIATA, OPORTUNIDADES DE MEJORA

Antoliano Orlando Burdiles Medina

Graduado del programa de Magister en Ingeniería Industrial y de Sistemas, Facultad de Ingeniería, Universidad de Desarrollo, aburdiles@udd.cl

Resumen:

Este trabajo presenta un análisis de factores y condiciones de mejora relacionadas con el uso de la tecnología de rayos-x, en un escáner industrial, utilizado en una empresa del rubro forestal-maderero. El objetivo de esta investigación es proponer un plan de mejoramiento, basado en el uso de la tecnología de rayos-x para la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados. Para lograrlo se propone una aproximación cualitativa a las opiniones de 11 informantes claves, entre subgerentes, jefes de operaciones, planificadores, ingenieros de procesos y operadores expertos, basada en entrevistas semi estructuradas y considerando una muestra por conveniencia, para entender cómo y por qué es concebida la utilización, operación y oportunidades de mejora en la implementación de la tecnología de rayos-x. Los distintos escenarios analizados muestran que la implementación del escáner de rayos-x impacta positivamente en el aprovechamiento de los rollizos podados, donde se verifica que segregarlos de acuerdo a su mejor aptitud de uso genera positivos beneficios y se visualiza además que existen oportunidades de mejora a implementar que permitan utilizar aún más el potencial que esta tecnología tiene, por la alta capacidad de capturar datos y transformarlos en información para obtener otras líneas de desarrollo y optimización, por mejoras en el escáner y en el layout donde se emplaza actualmente, por el uso en nuevos productos y/o mercados y por el uso de datos ya sean en el área Forestal o procesos posteriores. En síntesis, el análisis realizado con la metodología propuesta ha demostrado que, para la situación analizada, es muy positivo el uso del escáner de rayos-x por el beneficio que genera una segregación por aptitud de uso de los rollizos podados y, además es posible desarrollar distintas iniciativas de mejora que permitan un mejor aprovechamiento del potencial que esta tecnología posee, por lo que se propone un plan de mejoramiento con plazos y responsables y con actividades detalladas en cada uno de los factores propuestos para desarrollar estas mejoras.

Palabras claves: Tomografía computarizada, rollizos podados, aserrado de madera, patrones de corte, segregación de rollizos.

1. Introducción

Se entiende que los defectos presentes en la madera que se manufactura se correlacionan directamente a su valor, y por ello se busca posicionar estrategias que permitan minimizar este tipo de defectos en los productos resultantes. Luego la elección de la cara de corte resulta primordial desde el exterior de esta. Lo anterior se realiza teniendo en cuenta las escuadrías que se deben obtener de cada troza, de manera de

satisfacer la demanda de escuadrías (Aguilera, Ramos & Salinas, 2002; Saldias, 2018).

La forma de realizar el primer corte tiene un gran impacto en el valor final de la madera (Schmoldt & He and Abbott, 2000; An & Schajer, 2014). Este impacto es mucho más importante, si se tiene en cuenta que el costo total de la madera incrementa los costos de producción de un 20% a 80%. De acuerdo con lo anterior, si se conociera la distribución interna de los defectos de un trozo, es posible obtener hasta 10 veces

más el valor del producto final (Schmoldt & He and Abbott, 2000). Se han usado diferentes técnicas que permitan una adecuada clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos, entre otras, ultrasonido, microondas, rayos gama, resonancia nuclear magnética, infrarrojo, siendo una de las más efectivas para visualizar al interior de los trozos la tomografía computarizada (tomógrafo de rayos-x) (Schmoldt & He and Abbott, 2000; Ji, Cool & Duchesne, 2021).

Una Tomografía Computarizada (TC) refleja las variaciones en la densidad de un objeto o cuerpo. Las áreas de una densidad más alta aparecen en la imagen como áreas más claras, mientras que las de una densidad más baja aparecen como áreas más oscuras. La escala de grises que genera la TC permite detectar en la madera defectos internos, como, por ejemplo: nudos, grietas y médula. Esta técnica de tomografía se ha extendido ya que la correlación que existe entre la atenuación de rayos absorbidos por el cuerpo expuesto tiene una relación directa con la medida de densidad de los materiales.

En la TC, al estudiar un cuerpo, como un trozo de madera, se generan múltiples cortes o imágenes del cuerpo en estudio. Las imágenes obtenidas generan un arreglo tridimensional de valores, ya que la imagen cuenta con alto y ancho, pero también de un espesor debido al ancho del rayo que atraviesa la troza. Usando técnicas de visualización, como por ejemplo el Rendering Volumétrico (RV) se puede disponer de una representación volumétrica de los datos, generando así una visualización de la troza. El RV usa el slice de datos en 2D para generar una representación de datos en 3D. Para la visualización interna y reconocimiento de defectos, el tratamiento de los datos considera otras etapas, principalmente segmentación y clasificación, (Lichtenbelt, Crane & Naqvi, 1998; Ji, Cool & Duchesne, 2021). Un equipo de rayos-x es el que entrega la información para el proceso de RV: a) Para recolectar esta información el sistema utiliza alguna propiedad específica (densidad) que está relacionada directamente con la absorción de los rayos-x por el cuerpo; b) luego este procedimiento se hace para todos los cortes de TC y se acumula una gran cantidad de cortes o imágenes en 2D; c) desde estos cortes el proceso siguiente es convertir los píxeles de las imágenes 2D en voxels en la etapa d) y reconstruir el volumen original.

Elaboración en la industria del aserrío en Chile:

Uno de los actores fundamentales de la industria forestal-maderera es la industria del aserrío, siendo la base para el desarrollo de la industria secundaria y terciaria de transformación de la madera, pasando por productos elaborados y remanufacturados hasta muebles terminados, representando un gran potencial de demanda y desarrollo. Dicho proceso hacia una mayor elaboración, donde algunas unidades han optado por elaborar parte de su producción de madera aserrada, se da también al interior de la industria del aserrío.

Chile se sitúa como el décimo tercer productor del mundo, con una producción de 8,3 millones de metros cúbicos de madera aserrada anual. La industria se compone por un universo cercano a las 1.000 unidades productivas, donde aproximadamente el 50% son permanentes (están siempre emplazadas en el mismo lugar) y el otro 50% son móviles. Si caracterizamos esta industria respecto del tamaño, se tiene: producción anual superior a 100.000 m³ (grandes aserraderos) m³ y donde se concentra el 55% de la producción total, con 18 unidades, producción anual entre 10.000-100.000 (medianos aserraderos) con 92 unidades y producción anual inferior a 10.000 m³ (pequeños aserraderos) con 847 unidades. Una característica de la industria es que, la producción es inversamente proporcional al tamaño, es decir, pocos aserraderos grandes generan el mayor volumen y una gran cantidad de aserraderos pequeños generan una proporción menor. Otras características fundamentales de la producción chilena de madera aserrada son: el 76,8% se genera en los aserraderos localizados en tres regiones: Biobío, Maule y Ñuble y el 97,2% corresponde a madera de pino radiata. Para el año 2019 el total de empleos directos en los aserraderos llegó a 15.941 personas, un 47,3% del empleo en la industria forestal primaria. (Gysling et al. 2020).

Características, obstáculos y efectos de la innovación en empresas del sector maderero:

La incorporación de tecnología y procesos de innovación se ha ido incrementando en el tiempo y es una necesidad para permanecer en los mercados globales y presiona a las empresas a introducir cambios en sus procesos industriales. Estudios realizados en el sector maderero muestran que los esfuerzos de innovación empresarial son individuales y no asociativos, basados principalmente en la adquisición y no en la investigación y desarrollo. Se verifica una falta

de infraestructura de conocimiento que de soporte para iniciativas de innovación del sector. Lo anterior conlleva que, considerando las empresas estudiadas, hacen innovaciones que son nuevas “solo para la empresa” pero ya existen en el mercado (ejemplo incorporación de maquinaria o mejora de productos). Otro aspecto que se desprende de los resultados es el bajo nivel de asociatividad del sector, en donde más allá de pertenecer a alguna agrupación empresarial, no se observan iniciativas conjuntas para el desarrollo de innovaciones. (Monsálvez, C. 2017).

Poda en Pino Radiata:

En Chile, para la producción en la industria primaria del aserrío se utilizan principalmente rollizos de bosques cultivados de pino radiata. La eficiencia del proceso de aserrío está limitada principalmente por la aparición de defectos internos de los trozos, por ejemplo, nudos, bolsas de resina, pecas, grietas internas, entre otros. La mayor o menor presencia de estos defectos en la madera aserrada determinan el grado y la calidad y por defecto, el valor final del producto.

En la búsqueda de obtener madera de buena calidad, las empresas del rubro realizan un gran esfuerzo para atender las crecientes exigencias de los mercados internacionales. Es así como uno de los principales tratamientos silvícolas que aplican en la poda a los bosques de pino radiata, y así obtener fustes de mejor calidad. La Poda es un tratamiento silvícola en el cual se eliminan las ramas muertas o vivas del árbol. Posteriormente, con el crecimiento del árbol en su diámetro, se va cubriendo la zona del defecto, generándose así la valiosa madera libre de nudos, quedando confinada en una zona central la parte interna de estas ramas, denominado cilindro nudoso (CN). Finalmente, el diámetro del CN depende del número de podas, edad del árbol al momento de la poda y de la calidad del sitio, entre otras variables. (Rojas & Ortiz, 2009; Corvalán, 2020).

Historia de la Tomografía Computarizada:

Antes de ver su aplicación en el rubro forestal, los orígenes de la TC se remontan a la investigación médica llevada a cabo por Sir Godfrey Hounsfield, fallecido el 12 de agosto de 2004. Con la TC, Hounsfield revolucionó la medicina, invento con el que ganó el Premio Nobel en 1979 y es considerado por muchos como uno de los aportes a la medicina moderna más importantes del siglo XX. Se desarrolló la investigación clínica necesaria para su aplicación plena, respondiendo a: características de las imágenes,

cuándo y cómo utilizarla, sensibilidad de las imágenes, especialidad de distintas enfermedades o los diagnósticos diferenciales, entre otras. Los radiólogos, esperaron la investigación clínica necesaria, generando práctica clínica y haciendo difusión de los resultados mediante publicaciones en revistas, reuniones científicas, conferencias y simposios de Radiólogos. Un aporte significativo tuvo The Beatles, que, sin imaginarlo, financiaron las investigaciones de Hounsfield sobre la TC al ser la principal fuente de ingresos de EMI en los años 70. Fue así como los aportes de Hounsfield, los radiólogos, The Beatles y EMI lograron uno de los mayores aportes a la medicina moderna: la tomografía computarizada. (Hrescak & Socolsky, 2012).

Un escáner CT de alta velocidad para la industria de los aserraderos:

En los últimos años se ha avanzado en forma significativa en adaptar la TC para uso industrial, en particular la Empresa Microtec (Microtec es el proveedor de sistemas de escaneo y de optimización más fiable para aserraderos y empresas del ámbito maderero. Nosotros establecemos los estándares en el mercado desde 1980.), el 2011 ya estaba ad-portas de disponer de los primeros equipos para uso en aserraderos modernos. Estos avances en las tecnologías de fuentes de rayos-x y el algoritmo exacto de haz cónico permiten el análisis de cada registro y junto al aumento continuo de la potencia computacional y los procesadores permite también la posibilidad de desarrollar algoritmos iterativos capaces de aumentar la calidad de imagen para el mismo nivel de ruido.

Los principales problemas restantes son la complejidad de los conjuntos de sensores necesarios, la alta potencia de rayos-x que se debe usar para pasar troncos grandes y la dificultad mecánica de rotar un gran pórtico a la velocidad de 180 rpm. Problemas tecnológicos que ha resuelto Microtec. (Giudiceandrea & Ursella and Vicario, 2011).

Escáner CT de rayos-x industrial:

El uso del primer escáner CT de rayos-x industrial aumenta el valor de recuperación de madera: estudio de caso sobre visual madera de abeto de Douglas con clasificación de resistencia:

Ya para el año 2017 fue posible demostrar, por primera vez, que el uso de un escáner CT de rayos-x industrial puede mejorar significativamente la recuperación del

valor de la madera, preparando así la ruta para una nueva generación de líneas de aserrado. La tecnología CT es capaz de optimizar la recuperación de valor de los aserraderos, por ejemplo, elegir un ángulo de rotación de troncos que produce productos aserrados de mayor valor que el ángulo típico de curvatura hacia arriba. Dependiendo de la diferencia entre precios de los diferentes grados de producto, se puede obtener un incremento en el valor del producto aserrado entre 4 y 20%. Luego, los propietarios de aserraderos pueden beneficiarse del uso de un escáner CT. Se espera que el impacto de la optimización impulsada por CT sea aún más significativo si se consideran otras posibilidades, como la optimización de los paneles laterales o la selección de productos aserrados con diferentes dimensiones donde se aplican diferentes reglas de calidad. El escáner CT también puede detectar otras características internas de la madera (médula, fisura, bolsas de resina y corteza, madera de compresión) que podrían aumentar aún más el incremento de valor de cada tronco (Rais et al, 2017).

Entendida esta realidad, y considerando la revisión bibliográfica presentada, es posible efectuar el siguiente cuestionamiento de contexto: ¿Cuáles son los componentes y/o variables de la implementación de tecnología de rayos-x posibles de mejorar en la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados?

En efecto, respecto del único escáner de rayos-x instalado en Chile para la optimización de rollizos podados, se desconocen los componentes y/o variables posibles de mejorar. Esto se debe a que no se ha profundizado en utilizar al máximo la capacidad que esta tecnología posee y se ha limitado su uso a la salida original del proyecto.

Habiendo recorrido las bases teóricas fundamentales para este estudio, cabe mencionar que la principal motivación para realizarlo ha sido la necesidad de una conceptualización con base cualitativa que permita analizar los factores y condiciones de mejora relacionados con el uso de la tecnología de rayos-x. Se propone entonces un plan de acción con base en análisis de factores y condiciones de mejora a través del uso de la tecnología de rayos-x en la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados. En este sentido contribuye a la comprensión de factores y condiciones de mejora relacionados con el uso de la tecnología de rayos-x. Entendido esto, el objetivo de este trabajo es proponer un plan de mejoramiento, que considere análisis de factores y condiciones de mejora

relacionadas con el uso de la tecnología de rayos-x para la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados.

2. Metodología

Paradigma y diseño: Se ha seleccionado la utilización de una metodología cualitativa, basada en entrevistas semiestructuradas (Díaz-Bravo et al, 2013) entendida como una actividad sistemática orientada a la comprensión en profundidad de la percepción de intervinientes frente al requerimiento de la comprensión de la percepción de la implementación, uso y oportunidades de mejora por parte de los informantes claves en la utilización de la tecnología de rayos-x en la optimización del uso de rollizos podados.

Población sobre la que se efectuará el estudio: Se utilizó un muestreo considerando trabajadores claves en la operación de tecnología de rayos-x en una de las principales compañías forestales de Chile. El criterio de caso típico condujo a que se seleccionaran a los profesionales de planta de dicha compañía que participaron o participan en la implementación y operación de la tecnología de rayos-x, los que constituyen el 11% de la dotación de esta área y el 1,4% de la planta industrial. En total participaron 11 trabajadores, con una edad promedio de 42 años, con un máximo de 47 y un mínimo de 27 años. En promedio tenían 18 años de servicio, con un mínimo de 3 y un máximo de 26 años. De los cuales 73% eran profesionales de nivel técnico universitario o superior.

Entorno: El entorno seleccionado es una de las principales compañías forestales de Chile, con ventas por más de MMUS\$5.000 anuales, con presencia global (más de 4.600 clientes en los 5 continentes, oficinas comerciales en más de 30 países, con más de 50 instalaciones Industriales ubicadas en Chile, Argentina, Brasil, EEUU, Canadá, Uruguay, Alemania, España, entre otras), su objetivo es desarrollar productos que inspiran a crear soluciones destinadas a mejorar la vida de millones de personas en el mundo, estando presentes en el negocio forestal, celulosa, maderas, paneles y energía limpia y renovable. La planta industrial donde esta implementada la tecnología de rayos-x, dependiente de la gerencia de operaciones del negocio maderas, se encuentra emplazada en la VIII región-Chile, con una capacidad instalada de 400.000 m³ de madera aserrada y remanufacturada anual.

Intervenciones: Para el desarrollo de las entrevistas se utilizó como elementos de apoyo: un documento escrito que guiaba la discusión, en conjunto con una entrevista vía teams para interacción con los entrevistados, donde indicaban sus comentarios y preferencias y se utilizó para grabar las conversaciones. Las preguntas permitían guiar las entrevistas, siendo estas de carácter abierto. Las preguntas que guiaban las entrevistas se indican a continuación, las que se agrupan considerando tres etapas:

Etapa 1.- Caracterizar el presente y comprensión de la realidad

- 1.- ¿Cuáles han sido los impactos de la implementación de la tecnología de rayos-x en la clasificación de rollizos podados, en la operación, las personas y la organización en general?
- 2.- ¿Qué aspectos positivos y negativos considera Ud. que ha tenido el uso de esta tecnología?
- 3.- Desde su perspectiva ¿Cuál cree Ud. que es la evaluación del uso de esta tecnología en la organización (gerencia, directivos y operativos)?

Etapa 2.- Propuestas de alto impacto

- 4.- ¿Cuáles son los factores y/o variables claves a la hora de buscar oportunidades de mejora en el uso de esta tecnología?
- 5.- Tiene propuestas específicas de oportunidades de mejora en el uso de la tecnología de rayos-x para la clasificación y aprovechamiento de los rollizos podados?
6. ¿Quiénes son las personas o las áreas claves, y los recursos, que deberían participar?
7. ¿Cuáles son las acciones concretas que habría que tomar para la implementación de estas mejoras?

Etapa 3.- Alerta sobre las transformaciones

- 8.- ¿Qué dificultades visualiza para avanzar en un uso más intensivo de esta tecnología?
9. ¿Qué personas o áreas de trabajo podrían sentirse afectadas si implementamos estas mejoras? ¿cómo reaccionarían?
- 10.- ¿Qué recomendación para llevar a cabo las oportunidades de mejora a implementar?

Plan de análisis de los datos: se definieron categorías claves para las respuestas a las entrevistas en forma

inductiva a fin de agrupar y analizar la información cualitativa. El análisis cualitativo se realizó en base al análisis de los contenidos de las 11 entrevistas, realizándose un análisis de frecuencia para facilitar el análisis descriptivo. A partir de estos análisis se propone un plan de mejoramiento en el uso actual de esta tecnología.

Ética: La metodología cualitativa utilizada, basada en entrevistas semiestructuradas, fue validada por los profesores de la asignatura “Metodología de proyecto contextualizado”, Srta. Ana María Abarca Moebis y el Sr. Daniel Soto Torres. El instrumento fue previamente piloteado para realizar los ajustes necesarios y adaptación al objetivo de la investigación. Los actores del estudio fueron invitados a participar en forma informada y voluntaria; garantizando medidas para mantener la confidencialidad de la información y validarla con los propios interesados. No se intentó influir en las respuestas, ni cambiar sus características individuales, ni implícita ni explícitamente. Para ser parte de la investigación no existió ofrecimiento de beneficio y se respetó la libertad de participar o no sin presión.

3. Resultados

A continuación, presentamos los resultados obtenidos para cada uno de los ítems considerados, incluyendo la información relevante para el logro del objetivo establecido.

3.1 Análisis de datos

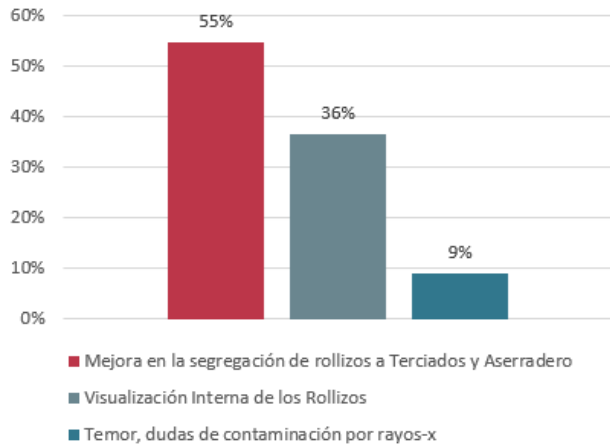
1.- ¿Cuáles han sido los impactos de la implementación de la tecnología de rayos-x en la clasificación de rollizos podados, en la operación, las personas y la organización en general?

Al revisar los resultados generales de los entrevistados (ver figura 1), en la primera pregunta nos encontramos que, un 55% ha observado una mejora en la segregación de rollizos a terciados y aserradero, los entrevistados comentan: entrevistado 4 “El CT-LOG generó un gran impacto en la segregación de rollizos podados a terciados y aserradero, se logró direccionar la fibra hacia el proceso que genera mayor valor”, otro entrevistado nos dice: entrevistado 6 “El CT-LOG ha generado un alto impacto en la maximización del negocio corporativo al mejorar la clasificación a terciados y aserradero, maximizando la fibra clear” en

línea con lo anterior, un 36% considera que ha impactado positivamente en una mejor visualización interna de los rollizos, dice el entrevistado 1 "Fue un gran avance ver al interior de los rollizos, antes optimizábamos todo con la vista. Ahí nos cambió la vida", otro entrevistado comenta: entrevistado 2 "Operacionalmente es una ayuda tremenda, antes clasificábamos solo al ojo y cometíamos muchos errores, ahora es mucho más fácil y efectivo. Ahora el CT-LOG lee. La manera antigua es muy compleja, nos acostumbramos a la nueva tecnología", no obstante, los aspectos positivos indicados por la mayoría de los entrevistados encontramos aspectos de atención asociados a los riesgos del uso de la tecnología de rayos-x, identificados como temor, dudas de contaminación por rayos-x en un 9% de los entrevistados, nos comenta el entrevistado 3 "en un principio hubo preocupación por la salud de los trabajadores, temor por los rayos-x, por la contaminación. Con el tiempo fue pasando por las capacitaciones, uso de dosímetros, pantallas de seguridad y distancias seguras".

Figura 1: Impactos de la tecnología de rayos-x

Fuente: elaboración propia



2.- ¿Qué aspectos positivos y negativos considera Ud. que ha tenido el uso de esta tecnología?

Al analizar los resultados un 82% de los entrevistados manifiesta aspectos positivos por incorporación de esta tecnología, donde un 64% indica como muy positivo el mejor aprovechamiento de la fibra clear y comentan: entrevistado 7 "La fibra se aprovecha de mucho mejor

forma. Antes se escapaba fibra, ejemplo en aserradero se perdía manto clear y hoy se va a paneles y a la inversa ocurría el mismo efecto", el entrevistado 9 "Mejor aprovechamiento de la fibra clear para terciados y aserraderos. Se fue aprendiendo en el camino y aplicando distintas configuraciones para aprovechar de mejor manera", también un 9% de los entrevistados indica que facilitó el trabajo de los operadores, tal como comenta el entrevistado 6 "facilitó el trabajo a los operadores al entregar control al CT-LOG, antes sólo contábamos con la forma externa del rollizo y la clasificación era visual, ahora es la tecnología que realiza esta labor", otro 9% indica como positivo tener información de los manejos forestales (predio/rodal) como dice el entrevistado 4 "Ha sido muy positivo el aporte de la información forestal de los rollizos, al poder analizar el impacto de las podas por predio/rodal y su manejo forestal". Por otro lado, un 18% manifiesta aspectos negativos asociados a la implementación de la tecnología de rayos-x, donde un 9% indica el peligro de trabajar con esta tecnología, dice el entrevistado 2 "Un aspecto que resultó negativo al principio fue el peligro de trabajar con rayos-x, más precaución, no arriesgarse. Con el tiempo fue pasando por mayor conocimiento de su funcionamiento y las medidas implementadas", otro aspecto negativo considerado por un 9% de los entrevistados es lo hermético del sistema, un monopolio del proveedor, el entrevistado 11 comenta "Yo pienso que un aspecto negativo de la tecnología implementada es lo hermético de esta tecnología para la mantención y solo pueden intervenir los vendedores (proveedores), hay un monopolio del proveedor".

3.- Desde su perspectiva ¿Cuál cree Ud. que es la evaluación del uso de esta tecnología en la organización (gerencia, directivos y operativos)?

Respecto esta pregunta es clara una percepción positiva del uso de esta tecnología, donde un 45% de los entrevistados encuentra como mínimo positiva su evaluación y comentan: entrevistado 3 "Yo creo que todos deben estar muy contentos, poder ver por dentro los rollizos, a mí me paso que pensé ¿quién va a poder ver por dentro los rollizos?, es más amigable su uso operacional", también comenta el entrevistado 7 "Existe una buena evaluación ya que se justificó la inversión, otros actores del rubro desean disponer de esta tecnología ya que ha dado buenos resultados" y el entrevistado 10 dice "Sin duda es positiva, pero no es para cualquier planta, uso super focalizado a cierto tipo de materia prima. Mejora cumplimiento cliente y

mejores utilidades", en la misma línea un 45 % de los entrevistados igual encuentra positiva la evaluación de la tecnología, pero coincide que tiene oportunidades de mejora y comentan: entrevistado 4 "Evaluación positiva cada vez que tuvimos visitas de gerentes, al ver el potencial que tiene, ver el trozo por dentro, mucha información. Logro su objetivo: dejar los rollizos podados mejor posicionados según su aptitud de uso, menor consumo de podados en terciados y diferencial a aserradero. Quedamos al debe con sacar mejor provecho ya que entregó buenas acciones con forestal y ver cómo hacer mejor los futuros manejos forestales. Con el aserradero se espera mucho más" también comenta el entrevistado 9 "Sensación que existe una positiva evaluación por el resultado en terciados y creo que falta sacarle mayor provecho en aserradero. A nivel global positivo, pero a nivel local cierta insatisfacción por el nivel de uso, ya que existen oportunidades de mayor precisión y aprovechamiento" y llama la atención que un 9% considera menos que positiva la evaluación de esta tecnología, en un nivel regular y comenta el entrevistado 8 "Gerencia hacia arriba es alta, pero hacia abajo no lo veo con tanto conocimiento de las bondades del CT-LOG, baja evaluación, nosotros podríamos sacarle mucho mayor provecho, es una enorme tecnología, falta mejorar flujos de necesidades e información que permitiría sacar mucho más provecho".

4.- *¿Cuáles son los factores y/o variables claves a la hora de buscar oportunidades de mejora en el uso de esta tecnología?*

Al preguntar a los entrevistados nos encontramos que un 45% considera que es importante avanzar en la capacidad del escáner, velocidad de procesamiento, resolución, parametrización y reportabilidad, el entrevistado 3 comenta: "Mayor velocidad de procesamiento de 6,3 roll/min, limitante son las sierras. El uso de la densidad detecta metales y en la práctica no es así, confunde, que sea más preciso ya que esto implica reprocesar volumen que no es necesario. Aproximadamente 1.000 a 1.200 m³/mes. 1% del volumen total ", el entrevistado 5 "yo creo que uno de los factores claves es entender bien cómo funciona, trabajar con el vendor y generar una gran base de datos que nos entregue información para mejor toma de decisiones" y el entrevistado 11 complementa "yo creo que en la flexibilidad, en la parametrización y en la automatización de la optimización, hoy solo entrega opciones pero, el operador elige la opción y en la parametrización es muy básico", luego un 18% de los

entrevistados considera importante utilizar esta tecnología en el uso de otros productos o en rollizos regulares, el entrevistado 10 dice "Oportunidad para adecuar materia prima a requerimientos futuros del mercado, explorar uso para estructural, para rollizos regulares", también un 18% indica como oportunidad usar la información del CT-LOG en terciados y aserradero, el entrevistado 4 comenta "Aprovechar la lectura del CT-LOG y utilizarla posteriormente en aserradero y terciados: en la forma como aserradero optimiza los cortes y el centro geométrico del debobinado de los rollizos en terciados", en línea con las oportunidades de mejora un 9% considera que se pueden hacer mejoras en la línea, en el layout y el entrevistado 2 indica "Para mayor aprovechamiento del escáner es posible hacer una línea continua para algunos productos, evitando las sierras de trozado y así pasar más rollizos por minuto" y por último un 9% considera que se podría usar la información del CT-LOG en el área forestal, el entrevistado 7 dice "Se podrían realizar estudios en conjunto con forestales para determinar índices de sitio y mejorar manejos forestales, se podrían estudiar los anillos de crecimiento y ver evolución del clima, investigación aplicada".

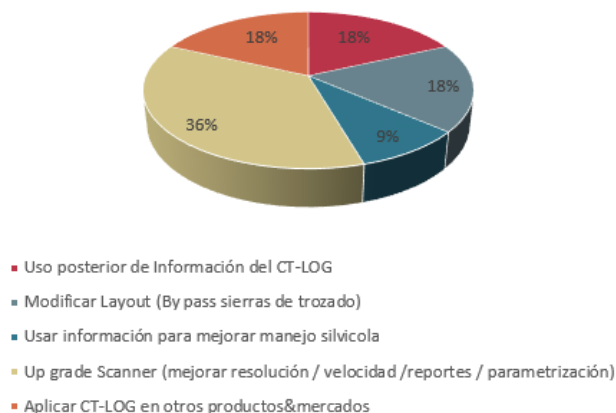
5.- *¿Tiene propuestas específicas de oportunidades de mejora en el uso de la tecnología de rayos-x para la clasificación y aprovechamiento de los rollizos podados?*

Al consultar a los entrevistados por propuestas específicas de oportunidades de mejora (ver figura 2), se rescata que un 36% considera que se debe hacer un Up Grade al escáner para mejorar aspectos como velocidad de procesamiento, resolución, parametrización y reportabilidad, comenta el entrevistado 1 "Correr a una mayor velocidad v/s calidad de lecturas por la capacidad del escáner, esto por la diferencia entre la medición de la densidad, la potencia y/o cantidad de lámparas para mejorar la precisión" y dentro de este Up-Grade un aspecto crítico a abordar es automatizar la decisión, tal como indica el entrevistado 7 "trabajar con el Vendor y que presenten solución técnica y propuesta económica de que la opción de optimización la tome el software y no los operarios, actualmente entrega hasta la propuesta", se destaca que un 18% de los entrevistados propone utilizar esta tecnología para otros productos y/o mercados y no solo usarla en lo ya conocido, al respecto el entrevistado 8 opina: "Orientación de rollizos no necesariamente al mayor rendimiento, sino al mercado. El mercado muy cambiante y se podría hacer que el CT-

LOG optimice por demanda y orientar producciones y stock" en la misma línea el entrevistado 10 comenta "Utilizar rayos-x para madera estructural, quitar rollizos de buen internudo a terciados para aserradero lo que implicaría usar el CT-LOG con rollizos regulares", otro 18% considera que es posible utilizar la información del CT-LOG para obtener mejores resultados en procesos posteriores de terciados y aserradero, el entrevistado 1 sugiere "trabajar con un escáner similar de rayos-x en aserradero, volver atrás y pesquisar los datos del CT-LOG. Traspasar directo o instalar un escáner de rayos-x en la entrada de aserradero" también el entrevistado 5 propone "mejorar la capacidad de procesamiento, colocarle más sensores para mejorar la captura y defectos que no detecta bien, el fin de nudo y donde comienza el clear" y el entrevistado 9 complementa "El CT-LOG entrega estimación de índice clear y en aserradero se usa otra tecnología para optimizar los cortes por lo que no se logra el mismo resultado". Otra propuesta de alto impacto esta referida a una modificación en el layout de los transportadores asociados al escáner, donde un 18% de los entrevistados considera que aportaría positivamente en una mejora en el aprovechamiento de la capacidad del CT-LOG, el entrevistado 3 propone "modificar transportador principal y unirlo al transportador simple lo que evitaría detenciones de la estación principal para productos terminados, unirlos y queda con un by pass para las sierras de trozado", una última oportunidad de mejora a abordar con un 9% de los entrevistados de acuerdo, está relacionada con disponibilizar y usar la información del CT-LOG para mejorar el manejo silvícola.

Figura 2: Oportunidades de mejora

Fuente: elaboración propia



6.- ¿Quiénes son las personas o las áreas claves, y los recursos, que deberían participar?

Al revisar las respuestas de los entrevistados es posible identificar que un 100% coincide que debe ser un equipo multidisciplinario quien debe abordar el desarrollo de estas oportunidades de mejora, equipo que incluye a operaciones, mantención, mejora continua, proyectos, planificación y donde se identifica una diferencia es: un 45% de los entrevistados indica que debe ser un equipo multidisciplinario interno y un 55% de los entrevistados considera que se debe incluir al proveedor en el desarrollo de las mejoras, también es importante destacar el hecho de considerar a quienes trabajan directamente con el sistema, tal como indica el entrevistado 2 "Pienso que debe ser un equipo multidisciplinario que incluya a los operadores, ya que cuando se hacen proyectos o mejoras no siempre nos hacen participar y nuestra opinión es muy importante para el éxito de estas iniciativas"

7.- ¿Cuáles son las acciones concretas que habría que tomar para la implementación de estas mejoras?

Al analizar las respuestas de los entrevistados es posible identificar varias acciones que se requieren para concretar las oportunidades de mejora identificadas, en primer lugar un 36% indica que se necesita realizar estudios y prototipos de validación ya que es un insumo fundamental para generar los beneficios de implementar estas mejoras y posteriormente realizar las propuestas técnico-económicas, comenta el entrevistado 10 "Para llevar adelante las iniciativas es necesario programar estudios, ejecutar estos estudios, evaluar los resultados, hacer iteraciones si se requiere, analizar y presentar para tomar decisiones", luego un 27% de los entrevistados coincide en que se requiere hacer reuniones del equipo de trabajo para priorizar los estudios, evaluaciones, coordinar las acciones y tareas necesarias para concretar las oportunidades de mejora, tal como opina el entrevistado 8 "Hacer reuniones de trabajo del equipo y decantar ideas priorizadas. Definir líder que genere Gantt y controle los avances". En línea con lo anterior, un 18% de los entrevistados opina que deben generarse las propuestas técnico-económicas que permitirán justificar las inversiones y solicitar los recursos que se requieren para ejecutar las mejoras propuestas por el equipo y finalmente un 9% de los entrevistados considera clave priorizar la ejecución de acuerdo con los beneficios de cada iniciativa, comenta el entrevistado 9 "Todo este trabajo del equipo debe permitir justificar las inversiones. Luego los proyectos

caerían en planes de inversiones de la Planta, priorizando su ejecución en el plan trianual de proyectos 2022-2024".

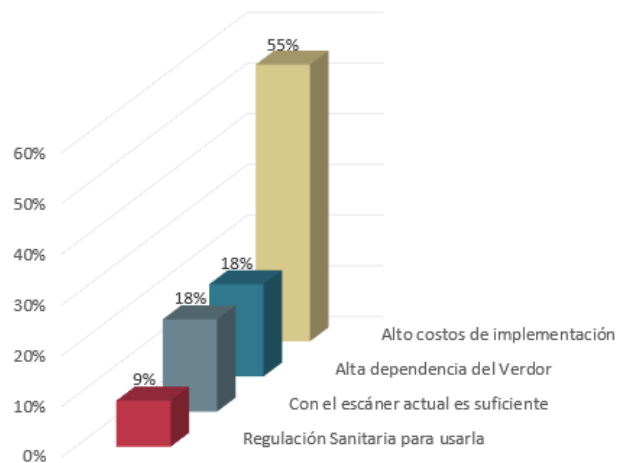
8.- *¿Qué dificultades visualiza para avanzar en un uso más intensivo de esta tecnología?*

Al analizar los resultados es posible ver que un alto porcentaje de los entrevistados (ver figura 3), un 55%, considera que una barrera importante para avanzar en el uso de esta tecnología son los altos costos de implementación, más allá de las dificultades técnicas que ya se han resuelto y estos altos costos requieren buenas evaluaciones para asegurar su financiamiento, el entrevistado 9 comenta "Yo creo que técnicamente no hay muchas dificultades, las veo por el lado económico, la inversión es alta pero los beneficios también son altos, falta atreverse, estamos súper pegados con lo tradicional" y en la misma línea nos dice el entrevistado 10 "Sin duda que los costos de inversión son altos y esto limita las posibilidades de desarrollo en la medida que estas inversiones se deben pagar y se busca beneficios y/o proyectos de retornos rápidos por lo inestable de los mercados". Hay un 18% de los entrevistados que piensa que no se avanza más con esta tecnología porque con la capacidad instalada actual es suficiente para lo que se necesita, ya sea por productos y/o mercados o por disponibilidad de materia prima, el entrevistado 3 indica "yo pienso que con el CT-LOG actual es suficiente para las necesidades, otras plantas no requieren esta tecnología" y comenta el entrevistado 11 "yo creo que hay limitada disponibilidad de materia prima, porque en un gran porcentaje del tiempo la decisión la toma forestal por balance de las líneas y por la disponibilidad de palos podados", también existe un 18% de los entrevistados que considera que no se avanza más porque hay una alta dependencia del proveedor lo que limita las posibilidades de ampliar su uso y buscar otras aplicaciones, no es posible hacer conversar distintos sistemas lo que dificulta un mayor uso de la tecnología y aprovechar las sinergias, nos comenta el entrevistado 4 "Yo visualizo una dificultad mayor en la dependencia del vendedor. Contrato de mantención y ciertas visitas muy cerradas no traspasando conocimiento, esto impide ampliar su uso a otras plantas/procesos" y complementa el entrevistado 6 "Existe una alta dependencia del vendedor y hacia adelante los escáner y software son de otras empresas y no conversan entre sí, esto impide un avance en el uso de los rayos-x", por otro lado un 9% de los entrevistados cree que una barrera para un uso más masivo de esta tecnología tiene que ver con la

regulación sanitaria, ya que su uso requiere implementaciones de seguridad y control permanente de la autoridad sanitaria, nos comenta el entrevistado 1 "Yo creo que es una restricción la regulación sanitaria que requiere altos niveles de seguridad e implementación de medidas y control de seremi de salud en forma regular".

Figura 3: Barreras en el uso

Fuente: elaboración propia



9.- *¿Qué personas o áreas de trabajo podrían sentirse afectadas si implementamos estas mejoras? ¿cómo reaccionarían?*

Al analizar las respuestas de los entrevistados es posible detectar que un 45% piensa que quienes se verían afectados son personas del área operacional, ya que al implementar estas mejoras se genera incertidumbre por los puestos de trabajo, aunque igual al ser personal altamente capacitado tendría opciones de reubicación, nos comenta el entrevistado 2 "Se puede generar incertidumbre en la línea directa de operaciones, se puede generar ajustes de dotación que afecta la convivencia y queda un sentimiento de temor, que siempre está. Igual pienso que personas altamente capacitadas siempre son reubicadas". Un 18% de los entrevistados piensa que habría efectos en el área de mantención, situaciones asociadas a los cambios y mayor especialización con tecnología de punta, tal como comenta el entrevistado 7 "Puede existir resistencia al cambio en personal de mantención, pero a la larga se requerirá personal más especializado y eso es muy positivo, poder estar a la altura de la última

tecnología", también se encuentra que un 18% de los entrevistados considera que se verá afectada positivamente el área de planificación y que al implementar estas mejoras tendrán efectos positivos en su gestión, nos comenta el entrevistado 10 "En planificación tendría un efecto muy positivo por mejor aprovechamiento y generación de productos clear, lo que requerirá mayores niveles de coordinación con operaciones por mayor segregación y direccionamiento de la fibra" y finalmente hay un 18% de los entrevistados que piensa que afectará positivamente a la Gerencia de la Empresa y Administración de la Planta por las mejoras en el margen y la rentabilidad del negocio, tal como nos comentan el entrevistado 6 "con estas mejoras/proyectos los más felices serían los dueños y jefes, ya que mejora el margen de negocio" y el entrevistado 9 "yo pienso que tendría un efecto muy positivo en la gerencia por los impactos positivos en la rentabilidad".

10.- ¿Qué recomienda para llevar a cabo las oportunidades de mejora a implementar?

De las respuestas recogidas, un 45% de los entrevistados considera importante que se genere un equipo de trabajo que lleve adelante estas iniciativas de mejora y que no esté en la contingencia diaria para un correcto desarrollo y se implementen en un plazo adecuado, además destacan el hecho de considerar al personal operativo en el desarrollo, nos comenta el entrevistado 5 "Yo creo que tendría que generarse un equipo que no estuviera en la contingencia y estuviera en las oportunidades de mejora, definir un equipo y llevarlo a cabo lo más rápido posible y recuperar estas oportunidades", existe un 27% de los entrevistados que encuentra clave el realizar estudios y evaluaciones, esto para determinar los potenciales a lograr y así generar las evaluaciones técnico-económicas que permitan justificar las iniciativas de mejora, así como también mirar en un horizonte de largo plazo, comenta el entrevistado 3 "Es clave hacer pruebas de campo para comparar lo que hacemos y lo que lograríamos, hacer estudios en colocar números para hacer evaluaciones técnico/económicas y justificar las inversiones" y en la misma línea comenta el entrevistado 6 "Hacer estudios para donde va el mercado, ¿para qué queremos el CT-LOG?, ejemplo construcción de edificios, tipo estructural. No necesariamente quedarse con la idea original, ver 10 a 15 años más", por otro lado hay un 18% de los entrevistados que encuentra importante salir del statu quo y buscar nuevas oportunidades para

esta tecnología, nos comenta el entrevistado 10 "Salir del statu Quo, la organización muy tranquila y eso puede dejar de buscar oportunidades salir a buscar más de lo que está entregando hoy, que se vaya empujando alineado con lo que se está buscando en la organización estar revisando permanentemente parámetros, largos, configuraciones", finalmente llama la atención un aspecto no mencionado anteriormente y que el 9% de los entrevistados considera se debiera generar un experto técnico local que permita aprovechar de mejor manera el potencial de esta tecnología y no depender tanto del vendedor, como comenta el entrevistado 8 "Yo recomendaría una capacitación de una persona que más se maneje, ya sea interno o externo, pero de Chile, en la mesa de trabajo y no depender exclusivamente del vendedor".

3.2 Plan de mejoramiento propuesto

Identificadas las variables y/o componentes posibles de mejorar en el uso de la tecnología de rayos-x en la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados, se propone el siguiente plan de mejoramiento con base en un equipo de trabajo multidisciplinario y cinco factores (ver figura 4), donde cada uno representa un ámbito de mejora del plan de mejoramiento (cronograma detallado en la figura 5). Es así como un primer aspecto corresponde a las mejoras posibles de realizar en el propio escáner de rayos-x, luego aparece un segundo aspecto relacionado con el entorno del escáner asociado a mejoras en el layout que permiten un mejor aprovechamiento del equipo. Sigue luego un tercer aspecto relacionado con el uso de la información que genera el escáner de rayos-x y que es posible utilizar en los procesos posteriores de terciados y aserradero. Un cuarto ámbito de mejora es aprovechar el potencial en buscar nuevos productos y mercados y finalmente un quinto aspecto a abordar es usar la información generada para mejorar los manejos forestales y otras aplicaciones a explorar en el área Forestal.

Figura 4: Factores de Mejoramiento

Fuente: elaboración propia



3.3 Discusión de resultados

Respecto de los resultados obtenidos al explorar la etapa de caracterización del presente y comprensión de la realidad, los entrevistados concuerdan que la implementación de esta tecnología ha impactado positivamente al resolver en forma industrial la visualización interna de los rollizos.

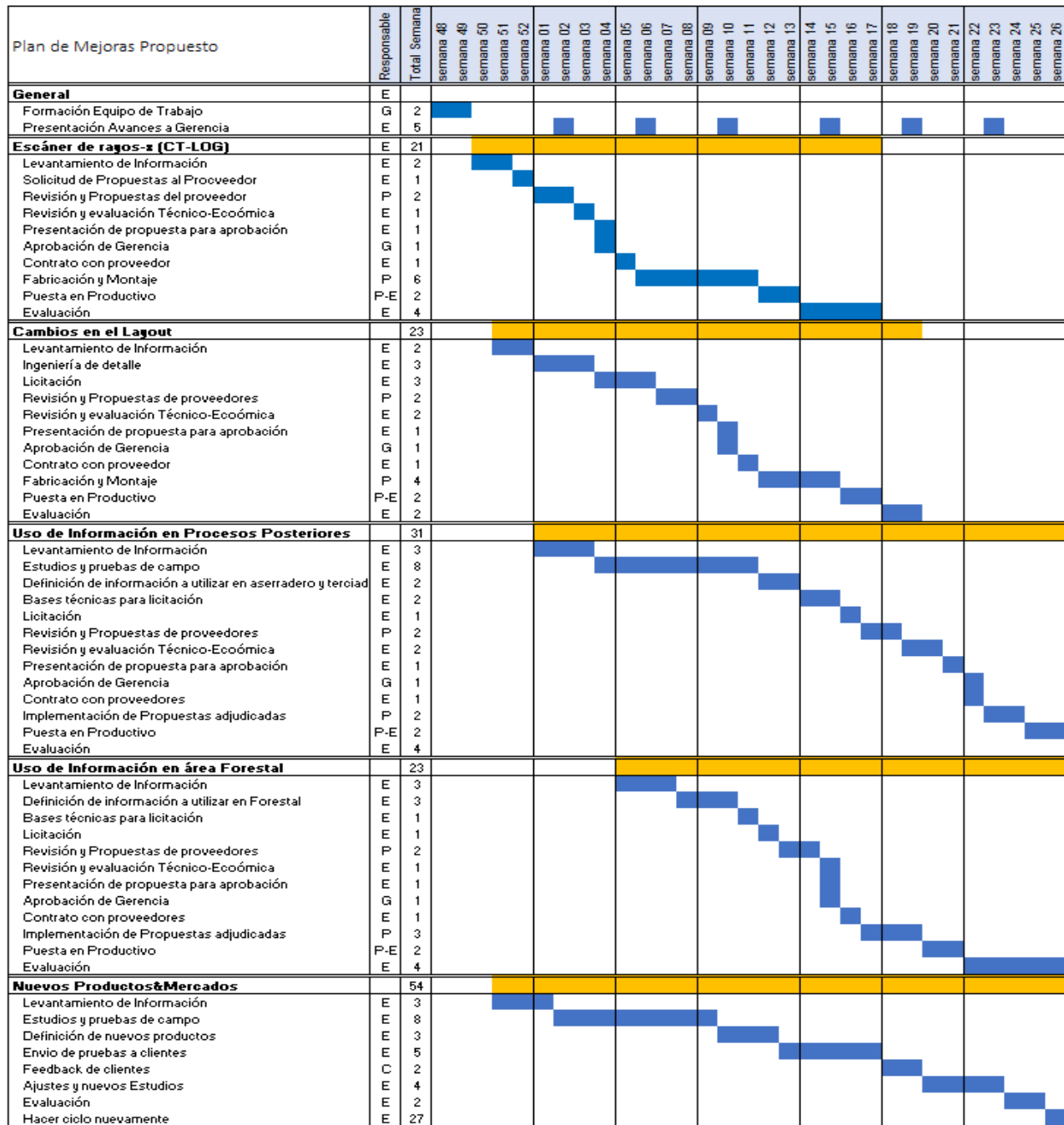
Esto se traduce en un mejor aprovechamiento de la fibra clear, al permitir una segregación por aptitud de uso en terciados o aserradero. Lo anteriormente expuesto coincide con lo planteado por (Rais et al, 2017), quien expone que la tecnología CT es capaz de optimizar la recuperación de valor de los aserraderos, por ejemplo, elegir un ángulo de rotación de troncos que produce productos aserrados de mayor valor que el ángulo típico de curvatura hacia arriba. Dependiendo de la diferencia entre precios de los diferentes grados de producto, se puede obtener un incremento en el valor del producto aserrado entre 4 y 20%. Luego, los propietarios de aserraderos pueden beneficiarse del uso de un escáner CT. Se espera que el impacto de la optimización impulsada por CT sea aún más significativo si se consideran otras posibilidades, como la optimización de los paneles laterales o la selección de productos aserrados con diferentes dimensiones donde se aplican diferentes reglas de calidad. El escáner CT también puede detectar otras características internas de la madera (médula, fisura,

bolsas de resina y corteza, madera de compresión) que podrían aumentar aún más el incremento de valor de cada tronco. Por otro lado, los entrevistados dan a conocer otros aspectos interesantes del uso de esta tecnología, como: facilitó el trabajo de los operadores, ya que antes se hacía una clasificación al ojo, estimando zonas clear, lo que cambió significativamente, al ser ahora el escáner quien provee esta información. Permitió también disponer de información para uso del área forestal, como índices de calidad por predio/rodal. Considerando los aspectos positivos anteriormente expuestos, también es posible rescatar de los entrevistados algunos aspectos no tan positivos como el riesgo asociado de trabajar con esta tecnología, lo que se comprende hoy de mejor forma por las medidas implementadas y mayor conocimiento del personal que interactúa en el área, así también como un hermetismo del proveedor de esta tecnología lo que impide un mayor desarrollo y/o aprovechamiento de esta. Finalmente, como se indicaba al principio, un alto porcentaje de los entrevistados coincide en los aspectos positivos de esta tecnología, sin embargo, alrededor del 50% considera que existen oportunidades de mejora. Para abordar las brechas detectadas se propone generar un equipo de trabajo para disponer de profesionales de distintas áreas de la empresa que recopilen la información clave para posteriores evaluaciones de mejora. Realizar los estudios y pruebas de campo para la confección de evaluaciones técnico-económicas que permitan las aprobaciones de la gerencia. Luego incorporar los proyectos en el plan general de la planta para su ejecución de acuerdo con las prioridades y retornos esperados.

De la etapa de propuestas de alto impacto, según los entrevistados, es posible abordar distintas oportunidades de mejora, algunas directamente sobre la tecnología de rayos-x y otras relacionadas con uso de la información, modificaciones de layout, usos posteriores de la data generada y explorar nuevos productos y/o mercados. Un primer aspecto que abordan los entrevistados es la posibilidad de mejorar el escáner de rayos-x en la capacidad que este tiene instalada (velocidad, resolución, reportes y parametrización), esto considerando que este equipo fue fabricado en 2012 y por los años que han pasado y los avances de la tecnología hoy es posible obtener mayores prestaciones en los aspectos indicados con un up-grade.

Figura 5: Cronograma de Mejoras

Fuente: elaboración propia



Lo anterior está muy en línea con lo planteado por (Giudiceandrea & Ursella and Vicario, 2011) de cómo se han ido resolviendo los problemas tecnológicos por el proveedor Microtec. Junto a lo anteriormente planteado se rescata de las propuestas de los

entrevistados que es posible realizar mejoras en el layout que permitirían un mejor aprovechamiento del escáner al hacer una ruta directa a productos que no necesitan trozado y evitar este centro, permitiendo así procesar un mayor volumen de rollizos. Existe también

una oportunidad latente de usar la data generada por el escáner en los procesos posteriores de terciados y aserradero, haciendo la trazabilidad de estos datos que permitiría optimizar aún más el uso de los rollizos podados y obtener un mayor aporte del CT-Log, esto es aprovechando el centro geométrico en terciados y el giro en aserradero para cortar en la posición óptima, de acuerdo con el mayor valor de los productos. También los entrevistados hacen ver la oportunidad de mejorar los manejos forestales al utilizar los datos que rescata el escáner y correlacionar los resultados por predio/rodal para generar manejos direccionados y con mejores resultados futuros y finalmente comentan los entrevistados que existe un potencial de buscar nuevos productos y/o mercados aprovechando el potencial del escáner y direccionar la materia prima desde el CT-Log, este es un aspecto potencial que siempre ha estado latente pero no se ha explorado en profundidad y se ha utilizado el equipo solo de acuerdo al plan original. Los entrevistados están de acuerdo que necesita generar un equipo de trabajo, se dividen las opiniones entre quienes consideran que este equipo debe ser interno y quienes piensan que debe participar el vendor del equipo, donde probablemente se requiera una situación intermedia, donde en algunos temas participará el vendor y en otros solo serán personas internas de la organización. Los entrevistados coinciden que es necesario transformar estas ideas y planteamientos de mejora en acciones que permitan el resultado esperado, proponiendo estudios, reuniones de trabajo, generar las propuestas técnico-económicas y priorizar la ejecución y seguimiento de estas tareas. Para abordar las brechas detectadas se propone generar un plan de trabajo para disponer de una ruta de trabajo con los aspectos a considerar, las tareas a realizar y los plazos y responsables.

Con respecto a la etapa de alerta sobre las transformaciones esta investigación detectó que una de las principales restricciones para un uso más intensivo en la industria de la madera, de la tecnología de rayos-x, es su elevado costo, no obstante que se entiende los grandes beneficios que conlleva, lo que coincide con lo indicado por (Rais et al, 2017) el uso de un escáner CT de rayos-x industrial puede mejorar significativamente la recuperación del valor de la madera, allanando así el camino para una nueva generación de líneas de aserrado. La tecnología CT es capaz de optimizar la recuperación de valor de los aserraderos, por ejemplo, elegir un ángulo de rotación de troncos que produce productos aserrados de mayor valor que el ángulo típico de curvatura hacia arriba. Dependiendo de la

diferencia entre precios de los diferentes grados de producto, se puede obtener un incremento en el valor del producto aserrado entre 4 y 20%, lo que llevado a evaluaciones técnico-económicas deja en evidencia su potencial de uso y factibilidad de conseguir los recursos necesarios. Si bien el costo fue la respuesta más mencionada como restricción para el uso más intensivo de esta tecnología, los entrevistados indicaron otros motivos que también afectan en un uso más intensivo, dentro de estos, que, para las necesidades actuales, con el este escáner es suficiente, esto no considera sus potencialidades como por ejemplo nuevos productos o mercados. El alto grado de hermetismo del proveedor, y entendiendo que es una tecnología nueva en este rubro (forestal) impide mayores desarrollos locales sin tener que recurrir cada vez al vendor, con los costos y tiempos que esto implica y otro aspecto es la relación de control de la autoridad sanitaria.

También se le consultó a los entrevistados por áreas o personas que pudieran verse afectadas por la incorporación de mejoras en el uso de esta tecnología, donde es posible detectar que el área con mayor incidencia sería la operativa, y aunque los entrevistados comentan la situación de incertidumbre que generan los avances tecnológicos, también señalan que es personal altamente calificado y tendrá espacio dentro de la organización, lo que está en línea por lo planteado por (Hernández, 2021): si bien lo cambios no son fáciles, dependen de la aceptación de las personas, quienes son las directas hacedoras en las empresas. Junto con el área operativa, para el área de mantención también existen desafíos, pero se menciona como positivo estar a la altura de la mejor tecnología disponible. Un aspecto interesante que mencionan los entrevistados son los positivos efectos en las áreas de planificación, al disponer de mejor información para la toma de decisiones en la Administración/Gerencia por los positivos resultados en el negocio que generan las oportunidades de mejora del uso de esta tecnología, tal como indica (Rais et al, 2017): “Ya para el año 2017 fue posible demostrar, por primera vez, que el uso de un escáner CT de rayos X industrial puede mejorar significativamente la recuperación del valor de la madera”.

Al analizar las recomendaciones entregadas por los entrevistados para abordar el proceso de implementación de mejoras detectadas en el uso de esta tecnología la mayor frecuencia de ellos (45%) comenta que se debe generar un equipo multidisciplinario de trabajo. Un aspecto fundamental

es realizar los estudios y evaluaciones que permitan determinar los impactos y justificar las iniciativas de mejora. Otros aspectos interesantes que mencionan los entrevistados es salir del statu quo y buscar nuevas oportunidades de mejora a lo ya existente y generar un experto local, dentro de la organización o en el país, ya que así se bajaría la dependencia del proveedor y permitiría mayores desarrollos locales. Para abordar las brechas detectadas se propone fomentar la formación continua y autoaprendizaje, entendiendo la naturaleza cambiante de los avances tecnológicos, para el uso del máximo potencial de la tecnología de rayos-x y la correcta comprensión de los alcances y limitaciones por parte del personal que interactúa directa o indirectamente con ella.

3.4 Estrategia de evidencias científicas

Con el fin de poner en evidencia las estrategias adoptadas y entregar rigor científico a este trabajo, durante este proceso se ha utilizado:

Triangulación de informantes: mediante la participación de distintas personas relacionadas con el uso de la tecnología de rayos-x, y dando foco en: su conocimiento, injerencia e involucramiento respecto al tema estudiado.

Triangulación de técnicas y fuentes: se utilizaron diferentes fuentes y técnicas para la recolección de los datos presentados en la investigación. Los principales recursos han sido entrevistas y artículos de revistas científicas indexadas, además de obtener información de informes de consultoras y seminarios asociados al tema investigado y se tuvo contacto con proveedores de estos equipos para conocer desarrollos actuales.

Criterio del valor de verdad: para disminuir el sesgo del experimentador al máximo, protegiendo así la validez de la investigación, se vela porque los datos levantados reflejen la realidad estudiada lo más fielmente posible.

Comentario de pares y comprobaciones con los participantes: en el desarrollo de la investigación se ha compartido con actores relevantes los resultados, siendo ellos a su vez participantes del mismo. Rol clave que permite poner en perspectiva las reflexiones, conclusiones y propuestas emanadas de los datos recolectados.

4. Conclusiones

Este trabajo establece que los componentes y/o variables de la implementación de tecnología de rayos-x posibles de mejorar en la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados son cinco: 1.- trabajar en el escáner propiamente tal, realizando un up-grade con una actualización de la tecnología, como por ejemplo los sensores de recepción, y con esto mejorar aspectos de resolución, velocidad, reportabilidad. 2.- hacer mejoras en el layout del entorno del escáner, lo que permitiría hacer un mejor aprovechamiento, al evitar pasar rollizos por el proceso de trozado que no requieren esta etapa y así aumentar el número de rollizos a procesar. 3.- usar la información que genera el CT-Log en procesos posteriores como el centro geométrico en terciados o la rotación en aserradero. 4.- explorar alternativas de nuevos productos y/o mercados aprovechando su potencialidad y 5.- usar la información para mejorar los manejos forestales. En este sentido se propone un plan de mejoramiento, basado en el uso de la tecnología de rayos-x para la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados. En efecto los resultados muestran que la tecnología ha tenido un impacto positivo y posee oportunidades de mejora para lograr un mayor uso del potencial que posee.

Dado lo anterior, esta investigación contribuye a la comprensión de factores y condiciones de mejora relacionados con el uso de la tecnología de rayos-x en la industria forestal-maderera, proponiendo un plan de mejoramiento concreto con las actividades y proyectos a desarrollar. Este estudio transparenta las percepciones de actores clave, activos en el entorno del uso de esta tecnología

Para abordar las brechas detectadas se proponen los siguientes trabajos futuros:

- Generar un equipo de trabajo permanente.
- Realizar los estudios y pruebas de campo.
- Incorporar los proyectos en el plan general de la planta.
- Generar un plan de trabajo.
- Actualizar beneficios del uso de la tecnología de rayos-x.
- Fomentar la formación continua y autoaprendizaje.

Referencias:

- Aguilera, C., Ramos, M., & Salinas, D. (2002). Visualización interna de nudos en rollizos de Madera de pinus radiata D. Don utilizando Rayos-x. *Maderas Ciencia y Tecnología*, 4(2). <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2002000200010>
- An, Y., & Schajer, G. S. (2014). Geometry-based CT scanner for measuring logs in sawmills. *Computers and Electronics in Agriculture*, 105, 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.03.007>
- Andreu, J.-P., & Rinnohofer, A. (2003). Modeling of Internal Defects in Logs for value Optimization based on Industrial CT Scanning. https://www.joanneum.at/fileadmin/user_upload/imported/uploads/tx_publicationlibrary/img322_2.pdf
- Beaulieu, J., & Dutilleul, P. (2019). Applications of computed tomography (CT) scanning technology in forest research: a timely update and review. *Canadian Journal of Forest Research*, 49(10), 1173–1188. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0537>
- Beaulieu, J., Han, L., & Dutilleul, P. (2016). Using computed tomography scanning technology to extract virtual wood cores, derive wood density radial patterns, and test hypothesis about direction, core size, and year of growth. *Wood and Fiber Science*, 48(3), 171–182. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/2428>
- Berglund, A., Broman, O., Grönlund, A., & Fredriksson, M. (2013). Improved log rotation using information from a computed tomography scanner. *Computers and Electronics in Agriculture*, 90, 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.09.012>
- Berglund, A., Johansson, E., & Skog, J. (2014). Value optimized log rotation for strength graded boards using computed tomography. *European Journal of Wood and Wood Products*, 72(5), 635–642. <https://doi.org/10.1007/s00107-014-0822-8>
- Corvalán Vera, C. P. (2020). Silvicultural considerations for the production of poles in Pinus radiata D. Don plantations in Chile. 8(2). <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/177068>
- Díaz-Bravo et al. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en educación médica*, 2(7), 162–167. [https://doi.org/10.1016/s2007-5057\(13\)72706-6](https://doi.org/10.1016/s2007-5057(13)72706-6)
- Gergel' et al. (2019). "Computed tomography log scanning – high technology for forestry and forest based industry" *Central European Forestry Journal*, vol.65, no.1, 2019, pp.51-59. <https://doi.org/10.2478/forj-2019-0003>
- Giudiceandrea & Ursella and Vicario, (2011). A high speed CT scanner for the sawmill industry. Hungary 1. https://www.researchgate.net/publication/264890290_A_high_speed_CT_scanner_for_the_sawmill_industry
- Gysling et al. (2020). El mercado de la madera aserrada para uso estructural en Chile. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.1220/29220>
- Gysling et al. (2020). Elaboración en la industria del aserrío en Chile. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.1220/30331>
- Hernández Gamboa, S.L. (2021). Estrategias para afrontar la resistencia al cambio en las organizaciones. <http://hdl.handle.net/10654/39044>
- Hrescak, M. C. O., & Socolsky, G. A. (2012). Godfrey Newbold Hounsfield: historia e impacto de la tomografía computada. <http://www.scielo.org.ar/pdf/rar/v76n4/v76n4a08.pdf>
- Ji, A., Cool, J., & Duchesne, I. (2021). Using X-ray CT scanned reconstructed logs to predict knot characteristics and tree value. *Forests*, 12(6), 720. <https://doi.org/10.3390/f12060720>
- Lichtenbelt, B., Crane, R., & Naqvi, S. (1998). Introduction to volume rendering. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. pp. 1-64. <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/275800>
- Monsálvez, C. (2017). Características, obstáculos y efectos de la innovación en empresas del sector maderero de la región del Maule, Chile. *Bosque (Valdivia)*, 38(1), 89–95. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002017000100010>

- Pan, L., Rogulin, R., & Kondrashev, S. (2021). Artificial neural network for defect detection in CT images of wood. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187(106312), 106312. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106312>
- Rais et al. (2017). The use of the first industrial X-ray CT scanner increases the lumber recovery value: case study on visually strength-graded Douglas-fir timber. *Annals of Forest Science*, 74(2). <https://doi.org/10.1007/s13595-017-0630-5>
- Rojas Espinoza, G., & Ortiz Iribarren, O. (2009). Identificación del Cilindro Nudoso en imágenes TC de trozas podadas de *Pinus Radiata* utilizando el Clasificador de Máxima Verosimilitud. *Maderas Ciencia y Tecnología*, 11(2). <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2009000200003>
- Saldias Cifuentes, N. M.-. (2018). Análisis vertical de los precios de la especie pino radiata chilena entre los años 1984 y 2016. <http://repositorio.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/2954>
- Schmoldt & He and Abbott, (2000). Automated labeling of log features in CT imagery of multiple hardwood species. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/viewFile/928/928>

4 CONCLUSIONES GENERALES

Este trabajo establece que los componentes y/o variables de la implementación de tecnología de rayos-x posibles de mejorar en la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados son cinco: 1.- trabajar en el escáner propiamente tal, realizando un up-grade con una actualización de la tecnología, como por ejemplo los sensores de recepción, y con esto mejorar aspectos de resolución, velocidad, reportabilidad. 2.- hacer mejoras en el layout del entorno del escáner, lo que permitiría hacer un mejor aprovechamiento, al evitar pasar rollizos por el proceso de trozado que no requieren esta etapa y así aumentar el número de rollizos a procesar. 3.- usar la información que genera el CT-Log en procesos posteriores como el centro geométrico en terciados o la rotación en aserradero. 4.- explorar alternativas de nuevos productos y/o mercados aprovechando su potencialidad y 5.- usar la información para mejorar los manejos forestales. En este sentido se propone un plan de mejoramiento, basado en el uso de la tecnología de rayos-x para la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados. En efecto los resultados muestran que la tecnología ha tenido un impacto positivo y posee oportunidades de mejora para lograr un mayor uso del potencial que posee.

También es importante considerar que:

Se entrevistó informantes claves en la implementación y operación de la tecnología de rayos-x, en la optimización del uso de rollizos podados para obtener información de los factores y/o componentes posibles de mejorar.

Se analizó los factores y/o componentes posibles de mejorar para un mayor aprovechamiento del potencial de la tecnología de rayos-x con el fin de generar propuestas de mejora en el uso de esta.

Se propuso un cronograma de mejoras con actividades, responsables y plazos (carta Gantt) para concretar las propuestas de mejora identificadas.

Dado lo anterior, esta investigación contribuye a la comprensión de factores y condiciones de mejora relacionados con el uso de la tecnología de rayos-x en la industria forestal-maderera, proponiendo un plan de mejoramiento concreto con las actividades y proyectos a desarrollar. Este estudio transparenta las percepciones de actores clave, activos en el entorno del uso de esta tecnología

4.1 Propuesta para trabajos futuros

Como continuación de este trabajo de tesis, hay varias líneas de desarrollo que quedan pendientes, y en las que es posible continuar trabajando; algunas de ellas, están más directamente relacionadas con este trabajo de tesis y son el resultado de preguntas que han ido surgiendo durante el proceso de investigación, como otras que son más tangenciales a la investigación. A continuación, revisaremos trabajos futuros que pueden investigarse como conclusión de esta investigación:

- Generar un equipo de trabajo permanente que permita canalizar estudios, nuevas iniciativas y mejoras.
- Realizar los estudios y pruebas de campo para ajustar parámetros, comprobar beneficios de las implementaciones de mejora actuales y futuras.
- Incorporar los proyectos en el plan general de la planta para asegurar financiamiento y desarrollo.
- Actualizar beneficios del uso de la tecnología de rayos-x.
- Fomentar la formación continua y autoaprendizaje de operaciones, mantención, planificación y personas relacionadas con el uso de esta tecnología.
- Aumentar el tamaño de la muestra, a uno que posibilite generalizar los resultados obtenidos.

- Considerar otras empresas del rubro Forestal-Maderero (interesadas en el uso de la tecnología de rayos-x)
- Analizar más exhaustivamente la utilización de otros instrumentos como encuestas, y/o métodos matemáticos-estadísticos, focus group, talleres o una mezcla de estos.
- Una propuesta importante para un trabajo futuro sería avanzar en estudios y análisis del uso de esta tecnología en otras instalaciones industriales dentro de la misma Empresa.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilera, C., Ramos, M., & Salinas, D. (2002). Visualización interna de nudos en rollizos de Madera de pinus radiata D. Don utilizando Rayos-x. *Maderas Ciencia y Tecnología*, 4(2). <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2002000200010>
- An, Y., & Schajer, G. S. (2014). Geometry-based CT scanner for measuring logs in sawmills. *Computers and Electronics in Agriculture*, 105, 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.03.007>
- Andreu, J.-P., & Rinnhofer, A. (2003). Modeling of Internal Defects in Logs for value Optimization based on Industrial CT Scanning. https://www.joanneum.at/fileadmin/user_upload/imported/uploads/tx_publicationlibrary/img3222.pdf
- Beaulieu, J., & Dutilleul, P. (2019). Applications of computed tomography (CT) scanning technology in forest research: a timely update and review. *Canadian Journal of Forest Research*, 49(10), 1173–1188. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0537>
- Beaulieu, J., Han, L., & Dutilleul, P. (2016). Using computed tomography scanning technology to extract virtual wood cores, derive wood density radial patterns, and test hypothesis about direction, core size, and year of growth. *Wood and Fiber Science*, 48(3), 171–182. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/2428>
- Berglund, A., Broman, O., Grönlund, A., & Fredriksson, M. (2013). Improved log rotation using information from a computed tomography scanner. *Computers and Electronics in Agriculture*, 90, 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.09.012>
- Berglund, A., Johansson, E., & Skog, J. (2014). Value optimized log rotation for strength graded boards using computed tomography. *European Journal of Wood and Wood Products*, 72(5), 635–642. <https://doi.org/10.1007/s00107-014-0822-8>

- Corvalán Vera, C. P. (2020). Silvicultural considerations for the production of poles in *Pinus radiata* D. Don plantations in Chile. 8(2). <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/177068>
- Díaz-Bravo et al. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en educación médica*, 2(7), 162–167. [https://doi.org/10.1016/s2007-5057\(13\)72706-6](https://doi.org/10.1016/s2007-5057(13)72706-6)
- Gergel' et al. (2019). "Computed tomography log scanning – high technology for forestry and forest based industry" *Central European Forestry Journal*, vol.65, no.1, 2019, pp.51-59. <https://doi.org/10.2478/forj-2019-0003>
- Giudiceandrea & Ursella and Vicario, (2011). A high speed CT scanner for the sawmill industry. Hungary 1. https://www.researchgate.net/publication/264890290_A_high_speed_CT_scanner_for_the_sawmill_industry
- Gysling et al. (2020). El mercado de la madera aserrada para uso estructural en Chile. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/29220>
- Gysling et al. (2020). Elaboración en la industria del aserrío en Chile. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/30331>
- Hernández Gamboa, S.L. (2021). Estrategias para afrontar la resistencia al cambio en las organizaciones. <http://hdl.handle.net/10654/39044>
- Hrescak, M. C. O., & Socolsky, G. A. (2012). Godfrey Newbold Hounsfield: historia e impacto de la tomografía computada. <http://www.scielo.org.ar/pdf/rar/v76n4/v76n4a08.pdf>
- Ji, A., Cool, J., & Duchesne, I. (2021). Using X-ray CT scanned reconstructed logs to predict knot characteristics and tree value. *Forests*, 12(6), 720. <https://doi.org/10.3390/f12060720>
- Lichtenbelt, B., Crane, R., & Naqvi, S. (1998). Introduction to volume rendering. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. pp. 1-64. <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/275800>

- Monsálvez, C. (2017). Características, obstáculos y efectos de la innovación en empresas del sector maderero de la región del Maule, Chile. *Bosque (Valdivia)*, 38(1), 89–95. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002017000100010>
- Pan, L., Rogulin, R., & Kondrashev, S. (2021). Artificial neural network for defect detection in CT images of wood. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187(106312), 106312. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106312>
- Rais et al. (2017). The use of the first industrial X-ray CT scanner increases the lumber recovery value: case study on visually strength-graded Douglas-fir timber. *Annals of Forest Science*, 74(2). <https://doi.org/10.1007/s13595-017-0630-5>
- Rojas Espinoza, G., & Ortiz Iribarren, O. (2009). Identificación del Cilindro Nudoso en imágenes TC de trozas podadas de *Pinus Radiata* utilizando el Clasificador de Máxima Verosimilitud. *Maderas Ciencia y Tecnología*, 11(2). <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2009000200003>
- Saldias Cifuentes, N. M.-. (2018). Análisis vertical de los precios de la especie pino radiata chilena entre los años 1984 y 2016. <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/2954>
- Schmoldt & He and Abbott, (2000). Automated labeling of log features in CT imagery of multiple hardwood species. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/viewFile/928/928>

6 ANEXO: REPORTE DE PLAGIO

El reporte de posibilidad de plagio de este trabajo, con otros trabajos publicados entrega un porcentaje de similitud de: 4 %



Informe del Detector de Plagio Viper

Articulo MIIS 2021 AB V6 14-dic-21.docx **escaneado**
2021

Porcentaje Total

4%

2.4%

VISUALIZACIÓN INTERNA DE NUDOS EN ...

http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pi

0.7%

Características, obstáculos y efectos de la inn...

http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pi

0.6%

Elaboración en la Industria del Aserrío en Chile

<https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.5>

0.2%

Godfrey Newbold Hounsfield: historia e impac...

http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttex

TECNOLOGIA DE RAYOS-X EN EL APROVECHAMIENTO DE FIBRA SIN DEFECTOS EN PINO RADIATA, OPORTUNIDADES DE MEJORA

Antoliano Orlando Burdiles Medina

Graduado del programa de Magister en Ingeniería Industrial y de Sistemas, Facultad de Ingeniería, Universidad de Desarrollo, aburdiles@udd.cl

Resumen:

Este trabajo presenta un análisis de factores y condiciones de mejora relacionadas con el uso de la tecnología de rayos-x, en un escáner industrial, utilizado en una empresa del rubro forestal-maderero. El objetivo de esta investigación es proponer un plan de mejoramiento, basado en el uso de la tecnología de rayos-x para la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados. Para lograrlo se propone una aproximación cualitativa a las opiniones de 11 informantes claves, entre subgerentes, jefes de operaciones, planificadores, ingenieros de procesos y operadores expertos, basada en entrevistas semi estructuradas y considerando una muestra por conveniencia, para entender cómo y por qué es concebida la utilización, operación y oportunidades de mejora en la implementación de la tecnología de rayos-x. Los distintos escenarios analizados muestran que la implementación del escáner de rayos-x impacta positivamente en el aprovechamiento de los rollizos podados, donde se verifica que segregarlos de acuerdo a su mejor aptitud de uso genera positivos beneficios y se visualiza además que existen oportunidades de mejora a implementar que permitan utilizar aún más el potencial que esta tecnología tiene, por la

alta capacidad de capturar datos y transformarlos en información para obtener otras líneas de desarrollo y optimización, por mejoras en el escáner y en el layout donde se emplaza actualmente, por el uso en nuevos productos y/o mercados y por el uso de datos ya sean en el área Forestal o procesos posteriores. En síntesis, el análisis realizado con la metodología propuesta ha demostrado que, para la situación analizada, es muy positivo el uso del escáner de rayos-x por el beneficio que genera una segregación por aptitud de uso de los rollizos podados y, además es posible desarrollar distintas iniciativas de mejora que permitan un mejor aprovechamiento del potencial que esta tecnología posee, por lo que se propone un plan de mejoramiento con plazos y responsables y con actividades detalladas en cada uno de los factores propuestos para desarrollar estas mejoras.

Palabras claves: Tomografía computarizada, rollizos podados, aserrado de madera, patrones de corte, segregación de rollizos.

1. Introducción

Se entiende que los defectos presentes en la madera que se manufactura se correlacionan directamente a su valor, y por ello se busca posicionar estrategias que permitan minimizar este tipo de defectos en los productos resultantes. Luego la elección de la cara de corte resulta primordial desde el exterior de esta.

Lo anterior se realiza teniendo en cuenta las escuadrías que se deben obtener de cada troza, de manera de satisfacer la demanda de escuadrías (Aguilera, Ramos & Salinas, 2002; Saldias, 2018).

La forma de realizar el primer corte tiene un gran impacto en el valor final de la madera (Schmoldt & He and Abbott, 2000; An & Schajer, 2014). Este impacto es mucho más importante, si se tiene en cuenta que el costo total de la madera incrementa los costos de producción de un 20% a 80%. De acuerdo con lo anterior, si se conociera la distribución interna de los defectos de un trozo, es posible obtener hasta 10 veces más el valor del producto final (Schmoldt & He and Abbott, 2000). Se han usado diferentes técnicas que permitan una adecuada clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos, entre otras, ultrasonido, microondas, rayos gama, resonancia nuclear magnética, infrarrojo, siendo una de las más efectivas para visualizar al interior de los trozos la tomografía computarizada (tomógrafo de rayos-x) (Schmoldt & He and Abbott, 2000; Ji, Cool & Duchesne, 2021).

Una Tomografía Computarizada (TC) refleja las variaciones en la densidad de un objeto o cuerpo. Las áreas de una densidad más alta aparecen en la imagen como áreas más claras, mientras que las de una densidad más baja aparecen como áreas más oscuras. La escala de grises que genera la TC permite detectar en la madera defectos internos, como, por ejemplo: nudos, grietas y médula. Esta técnica de tomografía se ha extendido ya que la correlación que existe entre la atenuación de rayos absorbidos por el cuerpo expuesto tiene una relación directa con la medida de densidad de los materiales.

En la TC, al estudiar un cuerpo, como un trozo de madera, se generan múltiples cortes o imágenes del cuerpo en estudio. Las imágenes obtenidas generan un arreglo tridimensional de valores, ya que la imagen cuenta con alto y ancho, pero también de un espesor debido al ancho del rayo que atraviesa la troza.

Usando técnicas de visualización, como por ejemplo el

Rendering Volumétrico (RV) se puede disponer de una representación volumétrica de los datos, generando así una visualización de la troza. El RV usa el slice de datos en 2D para generar una representación de datos en 3D. Para la visualización interna y reconocimiento de defectos, el tratamiento de los datos considera otras etapas, principalmente segmentación y clasificación, (Lichtenbelt, Crane & Naqvi, 1998; Ji, Cool & Duchesne, 2021). Un equipo de rayos-x es el que entrega la información para el proceso de RV: a) Para recolectar esta información el sistema utiliza alguna propiedad específica (densidad) que está relacionada directamente con la absorción de los rayos-x por el cuerpo; b) luego este procedimiento se hace para todos los cortes de TC y se acumula una gran cantidad de cortes o imágenes en 2D; c) desde estos cortes el proceso siguiente es convertir los pixeles de las imágenes 2D en voxeles en la etapa d) y reconstruir el volumen original.

Elaboración en la industria del aserrío en Chile:

Uno de los actores fundamentales de la industria forestal-maderera es la industria del aserrío, siendo la base para el desarrollo de la industria secundaria y terciaria de transformación de la madera, pasando por productos elaborados y remanufacturados hasta muebles terminados, representando un gran potencial de demanda y desarrollo. Dicho proceso hacia una mayor elaboración, donde algunas unidades han optado por elaborar parte de su producción de madera aserrada, se da también al interior de la industria del aserrío.

Chile se sitúa como el décimo tercer productor del mundo, con una producción de 8,3 millones de metros cúbicos de madera aserrada anual. La industria se compone por un universo

cercano a las 1.000 unidades productivas, donde aproximadamente el 50% son permanentes (están siempre emplazadas en el mismo lugar) y el otro 50% son móviles. Si caracterizamos esta industria respecto del tamaño, se tiene: producción anual superior a 100.000 m³ (grandes aserraderos) m³ y donde se concentra el 55% de la producción total, con 18 unidades, producción anual entre 10.000-100.000 (medianos aserraderos) con 92 unidades y producción anual inferior a 10.000 m³ (pequeños aserraderos) con 847 unidades. Una característica de la industria es que, la producción es inversamente proporcional al tamaño, es decir, pocos aserraderos grandes generan el mayor volumen y una gran cantidad de aserraderos pequeños generan una proporción menor. Otras características fundamentales de la producción chilena de madera aserrada son: el 76,8% se genera en los aserraderos localizados en tres regiones: Biobío, Maule y Ñuble y el 97,2% corresponde a madera de pino radiata. Para el año 2019 el total de empleos directos en los aserraderos llegó a 15.941 personas, un 47,3% del empleo en la industria forestal primaria. (Gysling et al. 2020).

Características, obstáculos y efectos de la innovación en empresas del sector maderero:

La incorporación de tecnología y procesos de innovación se ha ido incrementando en el tiempo y es una necesidad para permanecer en los mercados globales y presiona a las empresas a introducir cambios en sus procesos industriales. Estudios realizados en el sector maderero muestran que los esfuerzos de innovación empresarial son individuales y no asociativos, basados principalmente en la adquisición y no en la investigación y desarrollo. Se verifica una falta de infraestructura de conocimiento que de soporte para iniciativas de innovación del sector. Lo anterior conlleva que, considerando las empresas

estudiadas, hacen innovaciones que son nuevas "solo para la empresa" pero ya existen en el mercado (ejemplo incorporación de maquinaria o mejora de productos). Otro aspecto que se desprende de los resultados es el bajo nivel de asociatividad del sector, en donde más allá de pertenecer a alguna agrupación empresarial, no se observan iniciativas conjuntas para el desarrollo de innovaciones. (Monsálvez, C. 2017).

Poda en Pino Radiata:

En Chile, para la producción en la industria primaria del aserrío se utilizan principalmente rollizos de bosques cultivados de pino radiata. La eficiencia del proceso de aserrío está limitada principalmente por la aparición de defectos internos de los trozos, por ejemplo, nudos, bolsas de resina, pecas, grietas internas, entre otros. La mayor o menor presencia de estos defectos en la madera aserrada determinan el grado y la calidad y por defecto, el valor final del producto.

En la búsqueda de obtener madera de buena calidad, las empresas del rubro realizan un gran esfuerzo para atender las crecientes exigencias de los mercados internacionales. Es así como uno de los principales tratamientos silvícolas que aplican en la poda a los bosques de pino radiata, y así obtener fustes de mejor calidad. La Poda es un tratamiento silvícola en el cual se eliminan las ramas muertas o vivas del árbol. Posteriormente, con el crecimiento del árbol en su diámetro, se va cubriendo la zona del defecto, generándose así la valiosa madera libre de nudos, quedando confinada en una zona central la parte interna de estas ramas, denominado cilindro nudoso (CN). Finalmente, el diámetro del CN depende del número de podas, edad del árbol al momento de la poda y de la calidad del sitio, entre otras variables. (Rojas & Ortiz, 2009; Corvalán, 2020).

Historia de la Tomografía Computarizada:

Antes de ver su aplicación en el rubro forestal, los orígenes de

la TC se remontan a la investigación médica llevada a cabo por Sir Godfrey Hounsfield, fallecido el 12 de agosto de 2004. Con la TC, Hounsfield revolucionó la medicina, invento con el que **ganó el Premio Nobel en 1979 y es considerado por muchos como uno** de los aportes a la medicina moderna más importantes del siglo XX. Se desarrolló la investigación clínica necesaria para su aplicación plena, respondiendo a: características de las imágenes, cuándo y cómo utilizarla, sensibilidad de las imágenes, especialidad de distintas enfermedades o los diagnósticos diferenciales, entre otras. Los radiólogos, esperaron la investigación clínica necesaria, generando práctica clínica y haciendo difusión de los resultados mediante publicaciones en revistas, reuniones científicas, conferencias y simposios de Radiólogos. Un aporte significativo tuvo The Beatles, que, sin imaginarlo, financiaron las investigaciones de Hounsfield sobre la TC al ser la principal fuente de ingresos de EMI en los años 70. Fue así como los aportes de Hounsfield, los radiólogos, The Beatles y EMI lograron uno de los mayores aportes a la medicina moderna: la tomografía computarizada. (Hrescak & Socolsky, 2012). Un escáner CT de alta velocidad para la industria de los aserraderos:

En los últimos años se ha avanzado en forma significativa en adaptar la TC para uso industrial, en particular la Empresa Microtec (Microtec es el proveedor de sistemas de escaneo y de optimización más fiable para aserraderos y empresas del ámbito maderero. Nosotros establecemos los estándares en el mercado desde 1980.), el 2011 ya estaba ad- portas de disponer de los primeros equipos para uso en aserraderos modernos. Estos avances en las tecnologías de fuentes de rayos-x y el algoritmo exacto de haz cónico permiten el análisis de cada registro y junto al aumento continuo de la potencia computacional y los

procesadores permite también la posibilidad de desarrollar algoritmos iterativos capaces de aumentar la calidad de imagen para el mismo nivel de ruido.

Los principales problemas restantes son la complejidad de los conjuntos de sensores necesarios, la alta potencia de rayos-x que se debe usar para pasar troncos grandes y la dificultad mecánica de rotar un gran pórtico a la velocidad de 180 rpm.

Problemas tecnológicos que ha resuelto Microtec.

(Giudiceandrea & Ursella and Vicario, 2011).

Escáner CT de rayos-x industrial:

El uso del primer escáner CT de rayos-x industrial aumenta el valor de recuperación de madera: estudio de caso sobre visual

madera de abeto de Douglas con clasificación de resistencia:

Ya para el año 2017 fue posible demostrar, por primera vez, que el uso de un escáner CT de rayos-x industrial puede mejorar significativamente la recuperación del valor de la madera,

preparando así la ruta para una nueva generación de líneas de aserrado. La tecnología CT es capaz de optimizar la

recuperación de valor de los aserraderos, por ejemplo, elegir un ángulo de rotación de troncos que produce productos aserrados de mayor valor que el ángulo típico de curvatura hacia arriba.

Dependiendo de la diferencia entre precios de los diferentes grados de producto, se puede obtener un incremento en el valor del producto aserrado entre 4 y 20%.

Luego, los propietarios de aserraderos pueden beneficiarse del uso de un escáner CT. Se espera que el impacto de la optimización impulsada por CT sea

aún más significativo si se consideran otras posibilidades, como la optimización de los paneles laterales o la selección de

productos aserrados con diferentes dimensiones donde se aplican diferentes reglas de calidad. El escáner CT también

puede detectar otras características internas de la madera (médula, fisura, bolsas de resina y corteza, madera de

compresión) que podrían aumentar aún más el incremento de valor de cada tronco (Rais et al, 2017).

Entendida esta realidad, y considerando la revisión bibliográfica presentada, es posible efectuar el siguiente cuestionamiento de contexto: ¿Cuáles son los componentes y/o variables de la implementación de tecnología de rayos-x posibles de mejorar en la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados?

En efecto, respecto del único escáner de rayos-x instalado en Chile para la optimización de rollizos podados, se desconocen los componentes y/o variables posibles de mejorar. Esto se debe a que no se ha profundizado en utilizar al máximo la capacidad que esta tecnología posee y se ha limitado su uso a la salida original del proyecto.

Habiendo recorrido las bases teóricas fundamentales para este estudio, cabe mencionar que la principal motivación para realizarlo ha sido la necesidad de una conceptualización con base cualitativa que permita analizar los factores y condiciones de mejora relacionados con el uso de la tecnología de rayos-x. Se propone entonces un plan de acción con base en análisis de factores y condiciones de mejora a través del uso de la tecnología de rayos-x en la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados. En este sentido contribuye a la comprensión de factores y condiciones de mejora relacionados con el uso de la tecnología de rayos-x. Entendido esto, el objetivo de este trabajo es proponer un plan de mejoramiento, que considere análisis de factores y condiciones de mejora relacionadas con el uso de la tecnología de rayos-x para la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados.

2. Metodología

Paradigma y diseño: Se ha seleccionado la utilización de una metodología cualitativa, basada en entrevistas semiestructuradas (Díaz-Bravo et al, 2013) entendida como una actividad sistemática orientada a la comprensión en profundidad de la percepción de intervinientes frente al requerimiento de la comprensión de la percepción de la implementación, uso y oportunidades de mejora por parte de los informantes claves en la utilización de la tecnología de rayos-x en la optimización del uso de rollizos podados.

Población sobre la que se efectuará el estudio: Se utilizó un muestreo considerando trabajadores claves en la operación de tecnología de rayos-x en una de las principales compañías forestales de Chile. El criterio de caso típico condujo a que se seleccionaran a los profesionales de planta de dicha compañía que participaron o participan en la implementación y operación de la tecnología de rayos-x, los que constituyen el 11% de la dotación de esta área y el 1,4% de la planta industrial. En total participaron 11 trabajadores, con una edad promedio de 42 años, con un máximo de 47 y un mínimo de 27 años. En promedio tenían 18 años de servicio, con un mínimo de 3 y un máximo de 26 años. De los cuales 73% eran profesionales de nivel técnico universitario o superior.

Entorno: El entorno seleccionado es una de las principales compañías forestales de Chile, con ventas por más de MMUS\$5.000 anuales, con presencia global (más de 4.600 clientes en los 5 continentes, oficinas comerciales en más de 30 países, con más de 50 instalaciones Industriales ubicadas en Chile, Argentina, Brasil, EEUU, Canadá, Uruguay, Alemania, España, entre otras), su objetivo es desarrollar productos que inspiran a crear soluciones destinadas a mejorar la vida de millones de personas en el mundo, estando presentes en el negocio forestal, celulosa, maderas, paneles y energía limpia y

renovable. La planta industrial donde esta implementada la tecnología de rayos-x, dependiente de la gerencia de operaciones del negocio maderas, se encuentra emplazada en la VIII región-Chile, con una capacidad instalada de 400.000 m³ de madera aserrada y remanufacturada anual.

Intervenciones: Para el desarrollo de las entrevistas se utilizó como elementos de apoyo: un documento escrito que guiaba la discusión, en conjunto con una entrevista vía teams para interacción con los entrevistados, donde indicaban sus comentarios y preferencias y se utilizó para grabar las conversaciones. Las preguntas permitían guiar las entrevistas, siendo estas de carácter abierto. Las preguntas que guiaban las entrevistas se indican a continuación, las que se agrupan considerando tres etapas:

Etapla 1.- Caracterizar el presente y comprensión de la realidad

- 1.- ¿Cuáles han sido los impactos de la implementación de la tecnología de rayos-x en la clasificación de rollizos podados, en la operación, las personas y la organización en general?
- 2.- ¿Qué aspectos positivos y negativos considera Ud. que ha tenido el uso de esta tecnología?
- 3.- Desde su perspectiva ¿Cuál cree Ud. que es la evaluación del uso de esta tecnología en la organización (gerencia, directivos y operativos)?

Etapla 2.- Propuestas de alto impacto

- 4.- ¿Cuáles son los factores y/o variables claves a la hora de buscar oportunidades de mejora en el uso de esta tecnología?
- 5.- Tiene propuestas específicas de oportunidades de mejora en el uso de la tecnología de rayos-x para la clasificación y aprovechamiento de los rollizos podados?
6. ¿Quiénes son las personas o las áreas claves, y los recursos, que deberían participar?
7. ¿Cuáles son las acciones concretas que habría que tomar

para la implementación de estas mejoras?

Etapa 3.- Alerta sobre las transformaciones

8.- ¿Qué dificultades visualiza para avanzar en un uso más intensivo de esta tecnología?

9. ¿Qué personas o áreas de trabajo podrían sentirse afectadas si implementamos estas mejoras? ¿cómo reaccionarían?

10.- ¿Qué recomendación para llevar a cabo las oportunidades de mejora a implementar?

Plan de análisis de los datos: se definieron categorías claves para las respuestas a las entrevistas en forma inductiva a fin de agrupar y analizar la información cualitativa. El análisis cualitativo se realizó en base al análisis de los contenidos de las 11 entrevistas, realizándose un análisis de frecuencia para facilitar el análisis descriptivo. A partir de estos análisis se propone un plan de mejoramiento en el uso actual de esta tecnología.

Ética: La metodología cualitativa utilizada, basada en entrevistas semiestructuradas, fue validada por los profesores de la asignatura “Metodología de proyecto contextualizado”, Srta. Ana María Abarca Moebis y el Sr. Daniel Soto Torres. El instrumento fue previamente piloteado para realizar los ajustes necesarios y adaptación al objetivo de la investigación. Los actores del estudio fueron invitados a participar en forma informada y voluntaria; garantizando medidas para mantener la confidencialidad de la información y validarla con los propios interesados. No se intentó influir en las respuestas, ni cambiar sus características individuales, ni implícita ni explícitamente. Para ser parte de la investigación no existió ofrecimiento de beneficio y se respetó la libertad de participar o no sin presión.

3. Resultados

A continuación, presentamos los resultados obtenidos para cada

uno de los ítems considerados, incluyendo la información relevante para el logro del objetivo establecido.

3.1 Análisis de datos

1.- ¿Cuáles han sido los impactos de la implementación de la tecnología de rayos-x en la clasificación de rollizos podados, en la operación, las personas y la organización en general?

Al revisar los resultados generales de los entrevistados (ver figura 1), en la primera pregunta nos encontramos que, un 55% ha observado una mejora en la segregación de rollizos a terciados y aserradero, los entrevistados comentan:

entrevistado 4 "El CT-LOG generó un gran impacto en la segregación de rollizos podados a terciados y aserradero, se logró direccionar la fibra hacia el proceso que genera mayor valor", otro entrevistado nos dice: entrevistado 6 "El CT-LOG ha generado un alto impacto en la maximización del negocio corporativo al mejorar la clasificación a terciados y aserradero, maximizando la fibra clear" en línea con lo anterior, un 36% considera que ha impactado positivamente en una mejor visualización interna de los rollizos, dice el entrevistado 1 "Fue un gran avance ver al interior de los rollizos, antes optimizábamos todo con la vista. Ahí nos cambió la vida", otro entrevistado comenta: entrevistado 2 "Operacionalmente es una ayuda tremenda, antes clasificábamos solo al ojo y cometíamos muchos errores, ahora es mucho más fácil y efectivo. Ahora el CT-LOG lee. La manera antigua es muy compleja, nos acostumbramos a la nueva tecnología", no obstante, los aspectos positivos indicados por la mayoría de los entrevistados encontramos aspectos de atención asociados a los riesgos del uso de la tecnología de rayos-x, identificados como temor, dudas de contaminación por rayos-x en un 9% de los entrevistados, nos comenta el entrevistado 3 "en un principio

hubo preocupación por la salud de los trabajadores, temor por los rayos-x, por la contaminación. Con el tiempo fue pasando por las capacitaciones, uso de dosímetros, pantallas de seguridad y distancias seguras”.

Figura 1: Impactos de la tecnología de rayos-x

Fuente: elaboración propia

2.- ¿Qué aspectos positivos y negativos considera Ud. que ha tenido el uso de esta tecnología?

Al analizar los resultados un 82% de los entrevistados manifiesta aspectos positivos por incorporación de esta tecnología, donde un 64% indica como muy positivo el mejor aprovechamiento de la fibra clear y comentan: entrevistado 7 "La fibra se aprovecha de mucho mejor forma. Antes se escapaba fibra, ejemplo en aserradero se perdía manto clear y hoy se va a paneles y a la inversa ocurría el mismo efecto", el entrevistado 9 "Mejor aprovechamiento de la fibra clear para terciados y aserraderos. Se fue aprendiendo en el camino y aplicando distintas configuraciones para aprovechar de mejor manera", también un 9% de los entrevistados indica que facilitó el trabajo de los operadores, tal como comenta el entrevistado 6 "facilitó el trabajo a los operadores al entregar control al CT-LOG, antes sólo contábamos con la forma externa del rollizo y la clasificación era visual, ahora es la tecnología que realiza esta labor", otro 9% indica como positivo tener información de los manejos forestales (predio/rodal) como dice el entrevistado 4 "Ha sido muy positivo el aporte de la información forestal de los rollizos, al poder analizar el impacto de las podas por predio/rodal y su manejo forestal". Por otro lado, un 18% manifiesta aspectos negativos asociados a la implementación

de la tecnología de rayos-x, donde un 9% indica el peligro de trabajar con esta tecnología, dice el entrevistado 2 "Un aspecto que resultó negativo al principio fue el peligro de trabajar con rayos-x, más precaución, no arriesgarse. Con el tiempo fue pasando por mayor conocimiento de su funcionamiento y las medidas implementadas", otro aspecto negativo considerado por un 9% de los entrevistados es lo hermético del sistema, un monopolio del proveedor, el entrevistado 11 comenta "Yo pienso que un aspecto negativo de la tecnología implementada es lo hermético de esta tecnología para la mantención y solo pueden intervenir los vendors (proveedores), hay un monopolio del proveedor".

3.- Desde su perspectiva ¿Cuál cree Ud. que es la evaluación del uso de esta tecnología en la organización (gerencia, directivos y operativos)?

Respecto esta pregunta es clara una percepción positiva del uso de esta tecnología, donde un 45% de los entrevistados encuentra como mínimo positiva su evaluación y comentan: entrevistado 3 "Yo creo que todos deben estar muy contentos, poder ver por dentro los rollizos, a mí me paso que pensé ¿quién va a poder ver por dentro los rollizos?, es más amigable su uso operacional", también comenta el entrevistado 7 "Existe una buena evaluación ya que se justificó la inversión, otros actores del rubro desean disponer de esta tecnología ya que ha dado buenos resultados" y el entrevistado 10 dice "Sin duda es positiva, pero no es para cualquier planta, uso super focalizado a cierto tipo de materia prima. Mejora cumplimiento cliente y mejores utilidades", en la misma línea un 45 % de los entrevistados igual encuentra positiva la evaluación de la tecnología, pero coincide que tiene oportunidades de mejora y comentan: entrevistado 4 "Evaluación positiva cada vez que tuvimos visitas de gerentes, al ver el potencial que tiene, ver el

trozo por dentro, mucha información. Logro su objetivo: dejar los rollizos podados mejor posicionados según su aptitud de uso, menor consumo de podados en terciados y diferencial a aserradero. Quedamos al debe con sacar mejor provecho ya que entregó buenas acciones con forestal y ver cómo hacer mejor los futuros manejos forestales. Con el aserradero se espera mucho más" también comenta el entrevistado 9 "Sensación que existe una positiva evaluación por el resultado en terciados y creo que falta sacarle mayor provecho en aserradero. A nivel global positivo, pero a nivel local cierta insatisfacción por el nivel de uso, ya que existen oportunidades de mayor precisión y aprovechamiento" y llama la atención que un 9% considera menos que positiva la evaluación de esta tecnología, en un nivel regular y comenta el entrevistado 8 " Gerencia hacia arriba es alta, pero hacia abajo no lo veo con tanto conocimiento de las bondades del CT-LOG, baja evaluación, nosotros podríamos sacarle mucho mayor provecho, es una enorme tecnología, falta mejorar flujos de necesidades e información que permitiría sacar mucho más provecho".

4.- ¿Cuáles son los factores y/o variables claves a la hora de buscar oportunidades de mejora en el uso de esta tecnología?

Al preguntar a los entrevistados nos encontramos que un 45% considera que es importante avanzar en la capacidad del escáner, velocidad de procesamiento, resolución, parametrización y reportabilidad, el entrevistado 3 comenta: "Mayor velocidad de procesamiento de 6,3 roll/min, limitante son las sierras. El uso de la densidad detecta metales y en la práctica no es así, confunde, que sea más preciso ya que esto implica reprocesar volumen que no es necesario.

Aproximadamente 1.000 a 1.200 m³/mes. 1% del volumen total", el entrevistado 5 "yo creo que uno de los factores claves es entender bien cómo funciona, trabajar con el vendedor y generar

una gran base de datos que nos entregue información para mejor toma de decisiones" y el entrevistado 11 complementa "yo creo que en la flexibilidad, en la parametrización y en la automatización de la optimización, hoy solo entrega opciones pero, el operador elige la opción y en la parametrización es muy básico", luego un 18% de los entrevistados considera importante utilizar esta tecnología en el uso de otros productos o en rollizos regulares, el entrevistado 10 dice "Oportunidad para adecuar materia prima a requerimientos futuros del mercado, explorar uso para estructural, para rollizos regulares", también un 18% indica como oportunidad usar la información del CT-LOG en terciados y aserradero, el entrevistado 4 comenta "Aprovechar la lectura del CT-LOG y utilizarla posteriormente en aserradero y terciados: en la forma como aserradero optimiza los cortes y el centro geométrico del debobinado de los rollizos en terciados", en línea con las oportunidades de mejora un 9% considera que se pueden hacer mejoras en la línea, en el layout y el entrevistado 2 indica "Para mayor aprovechamiento del escáner es posible hacer una línea continua para algunos productos, evitando las sierras de trozado y así pasar más rollizos por minuto" y por último un 9% considera que se podría usar la información del CT-LOG en el área forestal, el entrevistado 7 dice "Se podrían realizar estudios en conjunto con forestales para determinar índices de sitio y mejorar manejos forestales, se podrían estudiar los anillos de crecimiento y ver evolución del clima, investigación aplicada".

5.- ¿Tiene propuestas específicas de oportunidades de mejora en el uso de la tecnología de rayos-x para la clasificación y aprovechamiento de los rollizos podados?

Al consultar a los entrevistados por propuestas específicas de oportunidades de mejora (ver figura 2), se rescata que un 36% considera que se debe hacer un Up Grade al escáner para

mejorar aspectos como velocidad de procesamiento, resolución, parametrización y reportabilidad, comenta el entrevistado 1 "Correr a una mayor velocidad v/s calidad de lecturas por la capacidad del escáner, esto por la diferencia entre la medición de la densidad, la potencia y/o cantidad de lámparas para mejorar la precisión" y dentro de este Up-Grade un aspecto crítico a abordar es automatizar la decisión, tal como indica el entrevistado 7 "trabajar con el Vendor y que presenten solución técnica y propuesta económica de que la opción de optimización la tome el software y no los operarios, actualmente entrega hasta la propuesta", se destaca que un 18% de los entrevistados propone utilizar esta tecnología para otros productos y/o mercados y no solo usarla en lo ya conocido, al respecto el entrevistado 8 opina: "Orientación de rollizos no necesariamente al mayor rendimiento, sino al mercado. El mercado muy cambiante y se podría hacer que el CT-LOG optimice por demanda y orientar producciones y stock" en la misma línea el entrevistado 10 comenta "Utilizar rayos-x para madera estructural, quitar rollizos de buen internudo a terciados para aserradero lo que implicaría usar el CT-LOG con rollizos regulares", otro 18% considera que es posible utilizar la información del CT-LOG para obtener mejores resultados en procesos posteriores de terciados y aserradero, el entrevistado 1 sugiere "trabajar con un escáner similar de rayos-x en aserradero, volver atrás y pesquisar los datos del CT-LOG. Traspasar directo o instalar un escáner de rayos-x en la entrada de aserradero" también el entrevistado 5 propone "mejorar la capacidad de procesamiento, colocarle más sensores para mejorar la captura y defectos que no detecta bien, el fin de nudo y donde comienza el clear" y el entrevistado 9 complementa "El CT-LOG entrega estimación de índice clear y en aserradero se usa otra tecnología para optimizar los cortes por lo que no se

logra el mismo resultado". Otra propuesta de alto impacto esta referida a una modificación en el layout de los transportadores asociados al escáner, donde un 18% de los entrevistados considera que aportaría positivamente en una mejora en el aprovechamiento de la capacidad del CT-LOG, el entrevistado 3 propone "modificar transportador principal y unirlo al transportador simple lo que evitaría detenciones de la estación principal para productos terminados, unirlos y queda con un by pass para las sierras de trozado", una última oportunidad de mejora a abordar con un 9% de los entrevistados de acuerdo, está relacionada con disponibilizar y usar la información del CT-LOG para mejorar el manejo silvícola.

Figura 2: Oportunidades de mejora

Fuente: elaboración propia

6.- ¿Quiénes son las personas o las áreas claves, y los recursos, que deberían participar?

Al revisar las respuestas de los entrevistados es posible identificar que un 100% coincide que debe ser un equipo multidisciplinario quien debe abordar el desarrollo de estas oportunidades de mejora, equipo que incluye a operaciones, mantención, mejora continua, proyectos, planificación y donde se identifica una diferencia es: un 45% de los entrevistados indica que debe ser un equipo multidisciplinario interno y un 55% de los entrevistados considera que se debe incluir al proveedor en el desarrollo de las mejoras, también es importante destacar el hecho de considerar a quienes trabajan directamente con el sistema, tal como indica el entrevistado 2 "Pienso que debe ser un equipo multidisciplinario que incluya a los operadores, ya que cuando se hacen proyectos o mejoras no siempre nos hacen participar y nuestra opinión es muy

importante para el éxito de estas iniciativas"

7.- ¿Cuáles son las acciones concretas que habría que tomar para la implementación de estas mejoras?

Al analizar las respuestas de los entrevistados es posible identificar varias acciones que se requieren para concretar las oportunidades de mejora identificadas, en primer lugar un 36% indica que se necesita realizar estudios y prototipos de validación ya que es un insumo fundamental para generar los beneficios de implementar estas mejoras y posteriormente realizar las propuestas técnico-económicas, comenta el entrevistado 10 "Para llevar adelante las iniciativas es necesario programar estudios, ejecutar estos estudios, evaluar los resultados, hacer iteraciones si se requiere, analizar y presentar para tomar decisiones", luego un 27% de los entrevistados coincide en que se requiere hacer reuniones del equipo de trabajo para priorizar los estudios, evaluaciones, coordinar las acciones y tareas necesarias para concretar las oportunidades de mejora, tal como opina el entrevistado 8 "Hacer reuniones de trabajo del equipo y decantar ideas priorizadas. Definir líder que genere Gantt y controle los avances". En línea con lo anterior, un 18% de los entrevistados opina que deben generarse las propuestas técnico-económicas que permitirán justificar las inversiones y solicitar los recursos que se requieren para ejecutar las mejoras propuestas por el equipo y finalmente un 9% de los entrevistados considera clave priorizar la ejecución de acuerdo con los beneficios de cada iniciativa, comenta el entrevistado 9 "Todo este trabajo del equipo debe permitir justificar las inversiones. Luego los proyectos caerían en planes de inversiones de la Planta, priorizando su ejecución en el plan trianual de proyectos 2022-2024".

8.- ¿Qué dificultades visualiza para avanzar en un uso más intensivo de esta tecnología?

Al analizar los resultados es posible ver que un alto porcentaje de los entrevistados (ver figura 3), un 55%, considera que una barrera importante para avanzar en el uso de esta tecnología son los altos costos de implementación, más allá de las dificultades técnicas que ya se han resuelto y estos altos costos requieren buenas evaluaciones para asegurar su financiamiento, el entrevistado 9 comenta "Yo creo que técnicamente no hay muchas dificultades, las veo por el lado económico, la inversión es alta pero los beneficios también son altos, falta atreverse, estamos súper pegados con lo tradicional" y en la misma línea nos dice el entrevistado 10 "Sin duda que los costos de inversión son altos y esto limita las posibilidades de desarrollo en la medida que estas inversiones se deben pagar y se busca beneficios y/o proyectos de retornos rápidos por lo inestable de los mercados". Hay un 18% de los entrevistados que piensa que no se avanza más con esta tecnología porque con la capacidad instalada actual es suficiente para lo que se necesita, ya sea por productos y/o mercados o por disponibilidad de materia prima, el entrevistado 3 indica "yo pienso que con el CT-LOG actual es suficiente para las necesidades, otras plantas no requieren esta tecnología" y comenta el entrevistado 11 "yo creo que hay limitada disponibilidad de materia prima, porque en un gran porcentaje del tiempo la decisión la toma forestal por balance de las líneas y por la disponibilidad de palos podados", también existe un 18% de los entrevistados que considera que no se avanza más porque hay una alta dependencia del proveedor lo que limita las posibilidades de ampliar su uso y buscar otras aplicaciones, no es posible hacer conversar distintos sistemas lo que dificulta un mayor uso de la tecnología y aprovechar las sinergias, nos comenta el entrevistado 4 "Yo visualizo una dificultad mayor en la dependencia del vendor. Contrato de mantención y ciertas

visitas muy cerradas no traspasando conocimiento, esto impide ampliar su uso a otras plantas/procesos" y complementa el entrevistado 6 "Existe una alta dependencia del vendedor y hacia adelante los escáner y software son de otras empresas y no conversan entre sí, esto impide un avance en el uso de los rayos-x", por otro lado un 9% de los entrevistados cree que una barrera para un uso más masivo de esta tecnología tiene que ver con la regulación sanitaria, ya que su uso requiere implementaciones de seguridad y control permanente de la autoridad sanitaria, nos comenta el entrevistado 1 "Yo creo que es una restricción la regulación sanitaria que requiere altos niveles de seguridad e implementación de medidas y control de seremi de salud en forma regular" .

Figura 3: Barreras en el uso

Fuente: elaboración propia

9.- ¿Qué personas o áreas de trabajo podrían sentirse afectadas si implementamos estas mejoras? ¿cómo reaccionarían?

Al analizar las respuestas de los entrevistados es posible detectar que un 45% piensa que quienes se verían afectados son personas del área operacional, ya que al implementar estas mejoras se genera incertidumbre por los puestos de trabajo, aunque igual al ser personal altamente capacitado tendría opciones de reubicación, nos comenta el entrevistado 2 "Se puede generar incertidumbre en la línea directa de operaciones, se puede generar ajustes de dotación que afecta la convivencia y queda un sentimiento de temor, que siempre está. Igual pienso que personas altamente capacitadas siempre son reubicadas". Un 18% de los entrevistados piensa que habría

efectos en el área de mantención, situaciones asociadas a los cambios y mayor especialización con tecnología de punta, tal como comenta el entrevistado 7 "Puede existir resistencia al cambio en personal de mantención, pero a la larga se requerirá personal más especializado y eso es muy positivo, poder estar a la altura de la última tecnología", también se encuentra que un 18% de los entrevistados considera que se verá afectada positivamente el área de planificación y que al implementar estas mejoras tendrán efectos positivos en su gestión, nos comenta el entrevistado 10 "En planificación tendría un efecto muy positivo por mejor aprovechamiento y generación de productos clear, lo que requerirá mayores niveles de coordinación con operaciones por mayor segregación y direccionamiento de la fibra" y finalmente hay un 18% de los entrevistados que piensa que afectará positivamente a la Gerencia de la Empresa y Administración de la Planta por las mejoras en el margen y la rentabilidad del negocio, tal como nos comentan el entrevistado 6 "con estas mejoras/proyectos los más felices serían los dueños y jefes, ya que mejora el margen de negocio" y el entrevistado 9 "yo pienso que tendría un efecto muy positivo en la gerencia por los impactos positivos en la rentabilidad".

10.- ¿Qué recomienda para llevar a cabo las oportunidades de mejora a implementar?

De las respuestas recogidas, un 45% de los entrevistados considera importante que se genere un equipo de trabajo que lleve adelante estas iniciativas de mejora y que no esté en la contingencia diaria para un correcto desarrollo y se implementen en un plazo adecuado, además destacan el hecho de considerar al personal operativo en el desarrollo, nos comenta el entrevistado 5 "Yo creo que tendría que generarse un equipo que no estuviera en la contingencia y estuviera en las

oportunidades de mejora, definir un equipo y llevarlo a cabo lo más rápido posible y recuperar estas oportunidades", existe un 27% de los entrevistados que encuentra clave el realizar estudios y evaluaciones, esto para determinar los potenciales a lograr y así generar las evaluaciones técnico-económicas que permitan justificar las iniciativas de mejora, así como también mirar en un horizonte de largo plazo, comenta el entrevistado 3 "Es clave hacer pruebas de campo para comparar lo que hacemos y lo que lograríamos, hacer estudios en colocar números para hacer evaluaciones técnico/económicas y justificar las inversiones" y en la misma línea comenta el entrevistado 6 "Hacer estudios para donde va el mercado, ¿para qué queremos el CT-LOG?, ejemplo construcción de edificios, tipo estructural. No necesariamente quedarse con la idea original, ver 10 a 15 años más", por otro lado hay un 18% de los entrevistados que encuentra importante salir del statu quo y buscar nuevas oportunidades para esta tecnología, nos comenta el entrevistado 10 "Salir del statu Quo, la organización muy tranquila y eso puede dejar de buscar oportunidades salir a buscar más de lo que está entregando hoy, que se vaya empujando alineado con lo que se está buscando en la organización estar revisando permanentemente parámetros, largos, configuraciones", finalmente llama la atención un aspecto no mencionado anteriormente y que el 9% de los entrevistados considera se debiera generar un experto técnico local que permita aprovechar de mejor manera el potencial de esta tecnología y no depender tanto del vendor, como comenta el entrevistado 8 "Yo recomendaría una capacitación de una persona que más se maneje, ya sea interno o externo, pero de Chile, en la mesa de trabajo y no depender exclusivamente del vendor".

3.2 Plan de mejoramiento propuesto

Identificadas las variables y/o componentes posibles de mejorar en el uso de la tecnología de rayos-x en la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados, se propone el siguiente plan de mejoramiento con base en un equipo de trabajo multidisciplinario y cinco factores (ver figura 4), donde cada uno representa un ámbito de mejora del plan de mejoramiento (cronograma detallado en la figura 5). Es así como un primer aspecto corresponde a las mejoras posibles de realizar en el propio escáner de rayos-x, luego aparece un segundo aspecto relacionado con el entorno del escáner asociado a mejoras en el layout que permiten un mejor aprovechamiento del equipo. Sigue luego un tercer aspecto relacionado con el uso de la información que genera el escáner de rayos-x y que es posible utilizar en los procesos posteriores de terciados y aserradero. Un cuarto ámbito de mejora es aprovechar el potencial en buscar nuevos productos&mercados y finalmente un quinto aspecto a abordar es usar la información generada para mejorar los manejos forestales y otras aplicaciones a explorar en el área Forestal.

Figura 4: Factores de Mejoramiento

Fuente: elaboración propia

3.3 Discusión de resultados

Respecto de los resultados obtenidos al explorar la etapa de

caracterización del presente y comprensión de la realidad, los entrevistados concuerdan que la implementación de esta tecnología ha impactado positivamente al resolver en forma industrial la visualización interna de los rollizos.

Esto se traduce en un mejor aprovechamiento de la fibra clear, al permitir una segregación por aptitud de uso en terciados o aserradero. Lo anteriormente expuesto coincide con lo planteado por (Rais et al, 2017), quien expone que la tecnología CT es capaz de optimizar la recuperación de valor de los aserraderos, por ejemplo, elegir un ángulo de rotación de troncos que produce productos aserrados de mayor valor que el ángulo típico de curvatura hacia arriba. Dependiendo de la diferencia entre precios de los diferentes grados de producto, se puede obtener un incremento en el valor del producto aserrado entre 4 y 20%. Luego, los propietarios de aserraderos pueden beneficiarse del uso de un escáner CT. Se espera que el impacto de la optimización impulsada por CT sea aún más significativo si se consideran otras posibilidades, como la optimización de los paneles laterales o la selección de productos aserrados con diferentes dimensiones donde se aplican diferentes reglas de calidad. El escáner CT también puede detectar otras características internas de la madera (médula, fisura, bolsas de resina y corteza, madera de compresión) que podrían aumentar aún más el incremento de valor de cada tronco. Por otro lado, los entrevistados dan a conocer otros aspectos interesantes del uso de esta tecnología, como: facilitó el trabajo de los operadores, ya que antes se hacía una clasificación al ojo, estimando zonas clear, lo que cambió significativamente, al ser ahora el escáner quien provee esta información. Permitió también disponer de información para uso del área forestal, como índices de calidad por predio/rodal. Considerando los aspectos positivos anteriormente expuestos,

también es posible rescatar de los entrevistados algunos aspectos no tan positivos como el riesgo asociado de trabajar con esta tecnología, lo que se comprende hoy de mejor forma por las medidas implementadas y mayor conocimiento del personal que interactúa en el área, así también como un hermetismo del proveedor de esta tecnología lo que impide un mayor desarrollo y/o aprovechamiento de esta. Finalmente, como se indicaba al principio, un alto porcentaje de los entrevistados coincide en los aspectos positivos de esta tecnología, sin embargo, alrededor del 50% considera que existen oportunidades de mejora. Para abordar las brechas detectadas se propone generar un equipo de trabajo para disponer de profesionales de distintas áreas de la empresa que recopilen la información clave para posteriores evaluaciones de mejora. Realizar los estudios y pruebas de campo para la confección de evaluaciones técnico-económicas que permitan las aprobaciones de la gerencia. Luego incorporar los proyectos en el plan general de la planta para su ejecución de acuerdo con las prioridades y retornos esperados.

De la etapa de propuestas de alto impacto, según los entrevistados, es posible abordar distintas oportunidades de mejora, algunas directamente sobre la tecnología de rayos-x y otras relacionadas con uso de la información, modificaciones de layout, usos posteriores de la data generada y explorar nuevos productos y/o mercados. Un primer aspecto que abordan los entrevistados es la posibilidad de mejorar el escáner de rayos-x en la capacidad que este tiene instalada (velocidad, resolución, reportes y parametrización), esto considerando que este equipo fue fabricado en 2012 y por los años que han pasado y los avances de la tecnología hoy es posible obtener mayores prestaciones en los aspectos indicados con un up-grade.

Figura 5: Cronograma de Mejoras

Fuente: elaboración propia

Lo anterior está muy en línea con lo planteado por (Giudiceandrea & Ursella and Vicario, 2011) de cómo se han ido resolviendo los problemas tecnológicos por el proveedor Microtec. Junto a lo anteriormente planteado se rescata de las propuestas de los entrevistados que es posible realizar mejoras en el layout que permitirían un mejor aprovechamiento del escáner al hacer una ruta directa a productos que no necesitan trozado y evitar este centro, permitiendo así procesar un mayor volumen de rollizos. Existe también una oportunidad latente de usar la data generada por el escáner en los procesos posteriores de terciados y aserradero, haciendo la trazabilidad de estos datos que permitiría optimizar aún más el uso de los rollizos podados y obtener un mayor aporte del CT-Log, esto es aprovechando el centro geométrico en terciados y el giro en aserradero para cortar en la posición óptima, de acuerdo con el mayor valor de los productos. También los entrevistados hacen ver la oportunidad de mejorar los manejos forestales al utilizar los datos que rescata el escáner y correlacionar los resultados por predio/rodal para generar manejos direccionados y con mejores resultados futuros y finalmente comentan los entrevistados que existe un potencial de buscar nuevos productos y/o mercados aprovechando el potencial del escáner y direccionar la materia prima desde el CT-Log, este es un aspecto potencial que siempre ha estado latente pero no se ha explorado en profundidad y se ha utilizado el equipo solo de acuerdo al plan original. Los entrevistados están de acuerdo que necesita generar un equipo de trabajo, se dividen las opiniones entre quienes consideran que este equipo debe ser interno y quienes piensan que debe participar el verdor del equipo, donde

probablemente se requiera una situación intermedia, donde en algunos temas participará el vendor y en otros solo serán personas internas de la organización. Los entrevistados coinciden que es necesario transformar estas ideas y planteamientos de mejora en acciones que permitan el resultado esperado, proponiendo estudios, reuniones de trabajo, generar las propuestas técnico-económicas y priorizar la ejecución y seguimiento de estas tareas. Para abordar las brechas detectadas se propone generar un plan de trabajo para disponer de una ruta de trabajo con los aspectos a considerar, las tareas a realizar y los plazos y responsables.

Con respecto a la etapa de alerta sobre las transformaciones esta investigación detectó que una de las principales restricciones para un uso más intensivo en la industria de la madera, de la tecnología de rayos-x, es su elevado costo, no obstante que se entiende los grandes beneficios que conlleva, lo que coincide con lo indicado por (Rais et al, 2017) el uso de un escáner CT de rayos-x industrial puede mejorar significativamente la recuperación del valor de la madera, allanando así el camino para una nueva generación de líneas de aserrado. La tecnología CT es capaz de optimizar la recuperación de valor de los aserraderos, por ejemplo, elegir un ángulo de rotación de troncos que produce productos aserrados de mayor valor que el ángulo típico de curvatura hacia arriba. Dependiendo de la diferencia entre precios de los diferentes grados de producto, se puede obtener un incremento en el valor del producto aserrado entre 4 y 20%, lo que llevado a evaluaciones técnico-económicas deja en evidencia su potencial de uso y factibilidad de conseguir los recursos necesarios. Si bien el costo fue la respuesta más mencionada como restricción para el uso más intensivo de esta tecnología, los entrevistados indicaron otros motivos que también afectan en un uso más

intensivo, dentro de estos, que, para las necesidades actuales, con el este escáner es suficiente, esto no considera sus potencialidades como por ejemplo nuevos productos o mercados. El alto grado de hermetismo del proveedor, y entendiendo que es una tecnología nueva en este rubro (forestal) impide mayores desarrollos locales sin tener que recurrir cada vez al vendor, con los costos y tiempos que esto implica y otro aspecto es la relación de control de la autoridad sanitaria.

También se le consultó a los entrevistados por áreas o personas que pudieran verse afectadas por la incorporación de mejoras en el uso de esta tecnología, donde es posible detectar que el área con mayor incidencia sería la operativa, y aunque los entrevistados comentan la situación de incertidumbre que generan los avances tecnológicos, también señalan que es personal altamente calificado y tendrá espacio dentro de la organización, lo que está en línea por lo planteado por (Hernández, 2021): si bien los cambios no son fáciles, dependen de la aceptación de las personas, quienes son las directas hacedoras en las empresas. Junto con el área operativa, para el área de mantención también existen desafíos, pero se menciona como positivo estar a la altura de la mejor tecnología disponible. Un aspecto interesante que mencionan los entrevistados son los positivos efectos en las áreas de planificación, al disponer de mejor información para la toma de decisiones en la Administración/Gerencia por los positivos resultados en el negocio que generan las oportunidades de mejora del uso de esta tecnología, tal como indica (Rais et al, 2017): “Ya para el año 2017 fue posible demostrar, por primera vez, que el uso de un escáner CT de rayos X industrial puede mejorar significativamente la recuperación del valor de la madera”. Al analizar las recomendaciones entregadas por los

intensivo, dentro de estos, que, para las necesidades actuales, con el este escáner es suficiente, esto no considera sus potencialidades como por ejemplo nuevos productos o mercados. El alto grado de hermetismo del proveedor, y entendiendo que es una tecnología nueva en este rubro (forestal) impide mayores desarrollos locales sin tener que recurrir cada vez al vendor, con los costos y tiempos que esto implica y otro aspecto es la relación de control de la autoridad sanitaria.

También se le consultó a los entrevistados por áreas o personas que pudieran verse afectadas por la incorporación de mejoras en el uso de esta tecnología, donde es posible detectar que el área con mayor incidencia sería la operativa, y aunque los entrevistados comentan la situación de incertidumbre que generan los avances tecnológicos, también señalan que es personal altamente calificado y tendrá espacio dentro de la organización, lo que está en línea por lo planteado por (Hernández, 2021): si bien los cambios no son fáciles, dependen de la aceptación de las personas, quienes son las directas hacedoras en las empresas. Junto con el área operativa, para el área de mantención también existen desafíos, pero se menciona como positivo estar a la altura de la mejor tecnología disponible. Un aspecto interesante que mencionan los entrevistados son los positivos efectos en las áreas de planificación, al disponer de mejor información para la toma de decisiones en la Administración/Gerencia por los positivos resultados en el negocio que generan las oportunidades de mejora del uso de esta tecnología, tal como indica (Rais et al, 2017): “Ya para el año 2017 fue posible demostrar, por primera vez, que el uso de un escáner CT de rayos X industrial puede mejorar significativamente la recuperación del valor de la madera”. Al analizar las recomendaciones entregadas por los

entrevistados para abordar el proceso de implementación de mejoras detectadas en el uso de esta tecnología la mayor frecuencia de ellos (45%) comenta que se debe generar un equipo multidisciplinario de trabajo. Un aspecto fundamental es realizar los estudios y evaluaciones que permitan determinar los impactos y justificar las iniciativas de mejora. Otros aspectos interesantes que mencionan los entrevistados es salir del statu quo y buscar nuevas oportunidades de mejora a lo ya existente y generar un experto local, dentro de la organización o en el país, ya que así se bajaría la dependencia del proveedor y permitiría mayores desarrollos locales. Para abordar las brechas detectadas se propone fomentar la formación continua y autoaprendizaje, entendiendo la naturaleza cambiante de los avances tecnológicos, para el uso del máximo potencial de la tecnología de rayos-x y la correcta comprensión de los alcances y limitaciones por parte del personal que interactúa directa o indirectamente con ella.

3.4 Estrategia de evidencias científicas

Con el fin de poner en evidencia las estrategias adoptadas y entregar rigor científico a este trabajo, durante este proceso se ha utilizado:

Triangulación de informantes: mediante la participación de distintas personas relacionadas con el uso de la tecnología de rayos-x, y dando foco en: su conocimiento, injerencia e involucramiento respecto al tema estudiado.

Triangulación de técnicas y fuentes: se utilizaron diferentes fuentes y técnicas para la recolección de los datos presentados en la investigación. Los principales recursos han sido entrevistas y artículos de revistas científicas indexadas, además de obtener información de informes de consultoras y seminarios asociados al tema investigado y se tuvo contacto con proveedores de estos equipos para conocer desarrollos

actuales.

Criterio del valor de verdad: para disminuir el sesgo del experimentador al máximo, protegiendo así la validez de la investigación, se vela porque los datos levantados reflejen la realidad estudiada lo más fielmente posible.

Comentario de pares y comprobaciones con los participantes: en el desarrollo de la investigación se ha compartido con actores relevantes los resultados, siendo ellos a su vez participantes del mismo. Rol clave que permite poner en perspectiva las reflexiones, conclusiones y propuestas emanadas de los datos recolectados.

4. Conclusiones

Este trabajo establece que los componentes y/o variables de la implementación de tecnología de rayos-x posibles de mejorar en la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados son cinco: 1.- trabajar en el escáner propiamente tal, realizando un up-grade con una actualización de la tecnología, como por ejemplo los sensores de recepción, y con esto mejorar aspectos de resolución, velocidad, reportabilidad. 2.- hacer mejoras en el layout del entorno del escáner, lo que permitiría hacer un mejor aprovechamiento, al evitar pasar rollizos por el proceso de trozado que no requieren esta etapa y así aumentar el número de rollizos a procesar. 3.- usar la información que genera el CT-Log en procesos posteriores como el centro geométrico en terciados o la rotación en aserradero. 4.- explorar alternativas de nuevos productos y/o mercados aprovechando su potencialidad y 5.- usar la información para mejorar los manejos forestales. En este sentido se propone un plan de mejoramiento, basado en el uso de la tecnología de rayos-x

para la clasificación, aprovechamiento y segregación de rollizos podados. En efecto los resultados muestran que la tecnología ha tenido un impacto positivo y posee oportunidades de mejora para lograr un mayor uso del potencial que posee.

Dado lo anterior, esta investigación contribuye a la comprensión de factores y condiciones de mejora relacionados con el uso de la tecnología de rayos-x en la industria forestal-maderera, proponiendo un plan de mejoramiento concreto con las actividades y proyectos a desarrollar. Este estudio transparenta las percepciones de actores clave, activos en el entorno del uso de esta tecnología

Para abordar las brechas detectadas se proponen los siguientes trabajos futuros:

- Generar un equipo de trabajo permanente.
- Realizar los estudios y pruebas de campo.
- Incorporar los proyectos en el plan general de la planta.
- Generar un plan de trabajo.
- Actualizar beneficios del uso de la tecnología de rayos-x.
- Fomentar la formación continua y autoaprendizaje.

Final del Informe
Gracias por usar
Viper