



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
INGENIERÍA FORESTAL

**PROPUESTA Y EVALUACIÓN DE UN DISPOSITIVO RFID PARA LA
TRAZABILIDAD DE TROZAS DESTINADAS A LA INDUSTRIA FORESTAL**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de
Concepción para otorgar al título profesional de Ingeniero Forestal

POR: Víctor Alfonso Salas Silva

Profesor Guía: Dr. Vicente Andrés Hernández Castillo

Febrero, 2024

Concepción, Chile

© 2024, Víctor Alfonso Salas Silva

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento

PROPUESTA Y EVALUACIÓN DE UN DISPOSITIVO RFID PARA LA
TRAZABILIDAD DE TROZAS DESTINADAS A LA INDUSTRIA FORESTAL



Profesor Guía

Vicente Andrés Hernández Castillo

Profesor Asistente

Ingeniero en Maderas, PhD



Profesora Guía

Rosa María Alzamora Mallea

Profesora Asociada

Ingeniera Forestal, PhD

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a la universidad por brindarme el entorno propicio para el desarrollo de este proyecto. Agradezco profundamente a los profesionales y compañeros cuya valiosa ayuda y conocimientos fueron fundamentales para el éxito de esta tesis.

En particular, deseo extender mi gratitud al distinguido profesor Ph.D. Vicente Hernández C. y a la profesora Rosa Alzamora M., quienes me brindaron la oportunidad y el respaldo necesario para embarcarme en este desafío, confiando plenamente en mis capacidades.

No puedo pasar por alto el apoyo incondicional de mi familia, quienes siempre me han motivado a perseverar y superar obstáculos. Su constante aliento ha sido una de las fuerzas impulsoras detrás de mis logros académicos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	viii
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. METODOLOGÍA.....	4
2.1 Descripción del área de estudio	4
2.2 Construcción del dispositivo RFID experimental.....	5
2.3 Ubicación en la troza y modo de aplicación.....	10
2.4 Control de funcionalidad	11
2.5 Información de la troza	12
2.6 Creación de aplicación para el monitoreo.....	13
2.7 Tolerancia a la humedad	15
III. RESULTADOS.....	16
IV. DISCUSIÓN	22
V. CONCLUSIONES.....	29
VI. BIBLIOGRAFÍA	30
VII. APÉNDICE.....	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la procedencia de las trozas.....	4
Tabla 2. Coordenadas geográficas de cancha acopio.	4
Tabla 3. Funcionalidad del dispositivo en las cuatro lecturas.	16
Tabla 4. Costos asociados a la fabricación del dispositivo RFID experimental.	27
Tabla 5. Dispositivos instalados con su respectiva información	32

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Rodela de <i>Robinia pseudoacacia</i> utilizada en la obtención de tarugos.	6
Figura 2. Tarugos con su forma y perforación lista para la inserción del microchip.	7
Figura 3. Microchips de baja frecuencia utilizados en los dispositivos.....	8
Figura 4. Dispositivo RFID listo para su instalación.	9
Figura 5. Cuatro Etapas Clave en el Proceso de Control.	12
Figura 6. Aplicación móvil para el control y registro de datos.	14
Figura 7. Evaluación de resistencia a la humedad.....	15
Figura 8. Dispositivos instalados y primera lectura en cancha del predio.	17
Figura 9. Segunda lectura en cancha del aserradero.	18
Figura 10. Tercera lectura luego de un mes bajo riego por aspersión.	18
Figura 11. Cuarta y última lectura luego de dos meses bajo riego por aspersión.	19
Figura 12. Control de funcionalidad a través de aplicación móvil.	20

RESUMEN

En Chile, las pérdidas monetarias en la industria maderera debido al robo de trozas han ido en aumento de manera progresiva. Esta problemática ha generado la necesidad de implementar estrategias, como la de los dispositivos que no interfieran en los procesos de conversión posteriores, que sean eficientes y de difícil detección. En este contexto, surgió así la idea de crear tarugos de madera con tecnología RFID implantable como respuesta a esta demanda. El enfoque se centró en la fabricación del dispositivo utilizando dos especies, *Robinia pseudoacacia* L y *Nothofagus dombeyi* Mirb, con el propósito de observar el comportamiento del microchip al estar recubierto por madera con diferentes propiedades y densidades. El estudio se llevó a cabo en trozas de *Pinus radiata* D. Don, introduciendo el dispositivo en la médula de la troza mientras esta se encontraba apilada en cancha del predio. Posteriormente, se evaluó el impacto de los golpes durante el transporte y la exposición a la humedad bajo riego por aspersión, con el fin de monitorear su funcionalidad en el lugar de destino ante distintas condiciones. Los resultados evidenciaron que el 100 % de los dispositivos fabricados con ambas especies funcionaron correctamente después de dos meses. Además, gracias a su bajo costo (compra e implementación), este dispositivo se presenta como una alternativa accesible tanto para pequeños como medianos propietarios, ofreciendo un efecto disuasivo contra el robo de

trozas y facilita su recuperación en casos de decomisos. En el ámbito del manejo de inventario y control de procesos, la tecnología ofrece notables ventajas al proporcionar un sistema que garantiza información precisa para cada dispositivo. Esta característica posibilita un monitoreo eficiente del flujo de trozas a lo largo de la cadena de suministro.

ABSTRACT

In Chile, the timber industry has been experiencing escalating monetary losses due to persistent log theft. This issue has spurred the development of a non-intrusive, efficient, and covert device to address the problem without disrupting conversion processes. Thus, the concept of embedding RFID technology within wooden dowels emerged to meet this demand. The focus was on utilizing two wood species, *Robinia pseudoacacia* L and *Nothofagus dombeyi* Mirb, to examine how the microchip behaves within woods of varying properties and densities.

The research involved testing on *Pinus radiata* D. Don logs by implanting the device into the core of the logs during field operations. Subsequent assessments included evaluating the device's resilience to impacts during transportation and exposure to moisture under sprinkler irrigation, ensuring its functionality under diverse conditions at the destination. Results indicated that all devices produced from both wood species operated correctly even after two months. Moreover, due to its economical production cost, this device emerges as a feasible option for small and medium-sized landowners, serving as an effective deterrent against log theft and aiding in the recovery of seized logs.

Beyond its security benefits, the device offers significant advantages in inventory management and process control. By furnishing precise information for each unit, it enables efficient monitoring of log movement throughout the supply chain, enhancing overall operational transparency and effectiveness.

I. INTRODUCCIÓN

La industria forestal es un sector importante para la economía chilena, contribuyendo significativamente al PIB (Soto Aguirre et al., 2022) y empleando a miles de personas en todo el país. Sin embargo, el robo de trozas es un problema que ha afectado a esta industria durante muchos años, causando pérdidas de ingresos y daños ambientales (Lagos Flores, 2023). A pesar de los esfuerzos por combatir este problema, la falta de medidas efectivas de disuasión ha resultado en la persistencia del robo y la falta de transparencia en la cadena de suministro. En la región del Biobío, CMPC estima que las pérdidas por robo de madera ascienden a alrededor de US\$50 millones para el año 2021 (Salgado, 2022), lo que destaca la urgencia de establecer un mecanismo disuasorio efectivo.

Es aquí donde el uso de dispositivos RFID puede ser una solución adecuada. La tecnología RFID permite la identificación y el seguimiento de objetos a través de ondas de radio (Alexandres Fernández, Rodríguez-Morcillo García, & Muñoz Frías, 2006), lo que hace posible el rastreo de las trozas desde su origen hasta su destino. En la industria forestal, la gestión precisa del inventario es fundamental para asegurar la trazabilidad y eficiencia en el manejo de las materias primas. La capacidad de etiquetar cada troza con un identificador único que contenga información detallada, como su procedencia, destino y características específicas, representa un avance significativo. Esta práctica

permite no solo registrar el movimiento de cada troza, sino también optimizar el control del stock. Con un sistema de gestión de inventario adecuado, es posible mantener un registro actualizado de la cantidad y ubicación de las trozas en cada etapa del proceso, lo que facilita la planificación de la producción y la toma de decisiones.

Además, el manejo efectivo del inventario también implica anticipar las demandas del mercado y evitar la sobreproducción o escasez de productos. Al contar con datos precisos sobre el nivel de existencias y la rotación de los materiales, las empresas pueden ajustar sus operaciones de acuerdo con la demanda real, reduciendo así los costos asociados con el almacenamiento excesivo o la falta de inventario.

La introducción de dispositivos RFID en la industria forestal podría tener un impacto significativo en la lucha contra el robo de trozas en Chile. Al utilizar esta tecnología, se puede mejorar la transparencia y la trazabilidad. Además, la tecnología RFID también puede mejorar la eficiencia del proceso de transporte y almacenamiento, lo que reduce costos y aumenta la competitividad de la industria forestal.

El propósito principal de este estudio es encontrar una alternativa de identificación de trozas de desarrollo local que sea accesible para las pequeñas y medianas empresas en Chile. Esta alternativa permitirá crear un sistema de rastreo e inventario eficiente para la cosecha, transporte y almacenamiento de trozas. Se ha identificado que el alto costo y la incertidumbre sobre el correcto

funcionamiento son dos de las principales limitantes para la implementación de esta tecnología en el país (Huamán & Loayza, 2014). Por lo tanto, el estudio tiene también como objetivo superar estas barreras y hacer que esta tecnología esté disponible y sea accesible para las empresas con recursos financieros limitados. Para garantizar una implementación efectiva de esta tecnología en la industria forestal, es importante abordar sus limitaciones. En este sentido, se propone utilizar tarugos elaborados con maderas duras como (*Robinia pseudoacacia* y *Nothofagus dombeyi*), que contengan un chip de radio frecuencia que pueda insertarse en las trozas de madera a rastrear. La elaboración del tarugo en madera se propone como una alternativa sustentable y eficiente además de no intervenir en procesos de conversión primaria, secundaria ni procesos químicos como el pulpaje.

En este estudio se busca saber es si posible desarrollar un dispositivo RFID implantable, realizado en base a tarugos de madera con densidad superior a la de la troza, capaz de mantener su capacidad de emisión de radio frecuencia durante las condiciones de cosecha, transporte y almacenamiento bajo riego por aspersión. Si se logra su desarrollo, este dispositivo podría ser utilizado como herramienta para disuadir el robo de trozas, como medio para recuperar trozas robadas y como herramienta para el desarrollo de inventarios en el proceso de cosecha y aserraderos.

II. METODOLOGÍA

2.1 Descripción del área de estudio

El estudio se desarrolla en la región del Biobío, precisamente en la comuna de Cabrero. Las muestras utilizadas en este proyecto fueron obtenidas del Fundo Membrillar y Coihueco (Tabla1), situados en dicha comuna. Estas muestras proceden del Rodal 319, el cual presentaba una edad de 19 años al momento de la cosecha.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la procedencia de las trozas.

S	W
37°03'00.4"	72°27'44.9"

Una vez que se implementó el dispositivo RFID en cada una de las trozas, estas fueron trasladadas al aserradero Bucalemu donde quedaron bajo riego por aspersión (Tabla 2). En este lugar, se llevarán a cabo los procedimientos de control y seguimiento correspondientes para evaluar los efectos de diferentes variables y resultados obtenidos tras la instalación del dispositivo.

Tabla 2. Coordenadas geográficas de cancha acopio.

S	W
37°10'16.4"	72°24'25.1"

2.2 Construcción del dispositivo RFID experimental

Para la elaboración de los tarugos de madera se buscaron especies que presentaran una mayor densidad con respecto a la densidad de *Pinus radiata* con la finalidad de obtener una mayor resistencia y evitar ruptura al momento de ser insertadas en la medula de la troza. Con tales criterios y observando los retazos de madera que se tenían a mano se decidió elaborar tarugos de dos especies *Robinia pseudoacacia* la cual presenta una densidad básica entre 0,750 y 0,823 g/cm³ (Cobas & Monteoliva, 2018), también se elaboraron en *Nothofagus dombeyi* la cual presenta una densidad básica de 0,520 g/cm³ y una alta resistencia mecánica (Ananias, 2002), mientras que la madera de pino posee una densidad básica promedio de $0,503 \pm 0,03$ g/cm³ a la edad de 15-20 años (Delmastro Naso, Díaz-Vaz, & Schlatter, 1980), la cual puede variar según la silvicultura realizada y las condiciones del sitio en las que se encuentra el rodal. Una vez que se determinó que la densidad de la especie en la cual se realiza la fabricación del tarugo es mayor que la densidad de la troza en la que se utilizaría existe una mayor probabilidad de poder insertarlo sin dañar el dispositivo. Esta consideración fue crucial para garantizar la integridad del microchip durante el proceso de implantación.

Para fabricar los tarugos, se utilizó una broca espiga con un diámetro interior de 8 mm y un largo de 70 mm. Esta broca permitió realizar perforaciones precisas y

adecuadas para la obtención en las piezas bases, las cuales serán transformados posteriormente en los dispositivos.

Estas perforaciones se llevaron a cabo en rodela de 80 mm de longitud (Figura 1). La elección de esta longitud de rodela se hizo con el objetivo de dejar un margen de sujeción de 10 mm. De esta manera, se evitó que el tarugo se quebrara o se debilitara durante el proceso de fabricación.



Figura 1. Rodela de *Robinia pseudoacacia* utilizada en la obtención de tarugos.

Posteriormente se cortó cada uno de los tarugos a una longitud de 50 mm. Esta longitud se determinó para facilitar la implantación de los microchips en las trozas. Al tener un tamaño reducido de los tarugos, se logra una mayor manejabilidad y facilidad al insertarlos en la medula de las trozas.

Se eliminaron ambas puntas de los tarugos. Esto se hizo para evitar astilladuras y asegurar una superficie lisa y segura en ambas extremidades. Al eliminar las

puntas, se redujo el riesgo de dañar el dispositivo durante el proceso de implantación.

Luego se realizó una forma cónica en una de las puntas de cada tarugo. El propósito de esta forma cónica era simular la apariencia de un clavo y facilitar la introducción del tarugo en la madera. La forma cónica permitió una inserción más suave y minimiza el impacto en la estructura de la madera circundante.

En la otra punta del tarugo se realizó una perforación de 20 mm de longitud y 2 mm de ancho (figura 2). Esta perforación tenía como finalidad crear un espacio para la inserción del microchip. La longitud y el ancho de la perforación se ajustaron para acomodar adecuadamente el tamaño y la forma del microchip seleccionado.



Figura 2. Tarugos con su forma y perforación lista para la inserción del microchip.

Una vez que los tarugos estaban con su perforación lista se obtuvieron microchips de 7 mm de longitud y 1,25 mm de ancho y una frecuencia de 134.2 kHz (Figura 3), la cual ofrece un rango de lectura de 2-3 cm de distancia, ya que

tales dispositivos son considerados de baja frecuencia (Polanco, Escobar, & Benítez, 2016).

La elección de una frecuencia de 134.2 kHz para los microchips se basó en las características específicas requeridas para este proyecto. Esta frecuencia ofrece un rango de lectura de aproximadamente 2-3 cm de distancia entre el lector y el microchip. Dicha distancia es adecuada para el propósito del estudio y las necesidades de recolección de datos.



Figura 3. Microchips de baja frecuencia utilizados en los dispositivos.

Para asegurar la protección y fijación adecuada de los microchips, se realizaron los siguientes pasos en el proceso de inserción de los dispositivos. Primero, los microchips fueron cuidadosamente insertados en los orificios de los tarugos. Luego, se utilizó resina epoxi para sellar los orificios, evitando así la entrada de humedad y asegurando la fijación del microchip dentro del tarugo. En total, se fabricaron 60 tarugos para este propósito específico: 30 de ellos fueron hechos de *Robinia pseudoacacia*, mientras que los 30 restantes se fabricaron con *Nothofagus dombeyi*.

El primer paso consistió en insertar los microchips en los orificios previamente preparados en los tarugos. Se tuvo especial cuidado para asegurar que los microchips quedaran correctamente ubicados en los orificios, evitando movimientos o desplazamientos que pudieran comprometer su funcionalidad.

Una vez que los microchips estuvieron en su lugar, se procedió a sellar los orificios utilizando resina epoxi (Figura 4). Esta resina tiene propiedades impermeables, lo que significa que evita el ingreso de humedad al interior del tarugo. Al sellar herméticamente los orificios, se protegió el microchip de posibles daños causados por la humedad, lo que podría afectar su rendimiento y durabilidad.

Además de proporcionar una barrera contra la humedad, el uso de resina epoxi también ayudó a fijar firmemente el microchip dentro del tarugo. La resina se endurece después de su aplicación, proporcionando una sujeción sólida y segura para el microchip. Esto garantizó que el dispositivo permaneciera en su lugar incluso en condiciones de manipulación o transporte.



Figura 4. Dispositivo RFID listo para su instalación.

2.3 Ubicación en la troza y modo de aplicación

Durante el desarrollo de este proyecto, cada uno de los dispositivos necesarios fue cuidadosamente insertado en la médula de una troza de madera. Esta elección se hizo con el objetivo de evitar interferir en los procesos de conversión de la madera y, al mismo tiempo, facilitar la toma de datos.

Para llevar a cabo la inserción de los dispositivos, se optó por utilizar un martillo de madera en lugar de uno convencional de acero. Esta decisión se basó en la consideración de que el uso de un martillo de acero aumentaría significativamente el riesgo de ruptura del dispositivo. Por el contrario, al emplear un martillo de madera, los golpes se distribuyeron de manera más uniforme en la superficie del tarugo, reduciendo considerablemente la posibilidad de dañarlo durante la instalación.

Esta estrategia de inserción se diseñó para garantizar la integridad de los dispositivos y minimizar cualquier impacto negativo en el proceso de recolección de datos. Al evitar intervenciones agresivas en la madera y utilizar herramientas adecuadas, se logra asegurar una mayor funcionalidad y durabilidad de los dispositivos instalados.

2.4 Control de funcionalidad

Con el fin de mantener un control sobre la funcionalidad de los dispositivos, se llevó a cabo un proceso de verificación en cuatro etapas distintas (figura 5). Estas verificaciones se realizaron después de la instalación inicial en la cancha del predio, posteriormente en la cancha del aserradero, y finalmente se realizaron dos lecturas adicionales cada mes en la cancha del aserradero.

La realización de estas verificaciones en múltiples etapas permite obtener una visión completa y precisa del rendimiento de los dispositivos en diferentes momentos del proceso. Al verificar los dispositivos después de cada movimiento de la troza, fue posible determinar el porcentaje de dispositivos que seguían funcionales y evaluar su rendimiento a lo largo del tiempo.

La primera verificación se llevó a cabo inmediatamente después de la instalación de los dispositivos en la cancha del predio. Esto permitió evaluar su funcionalidad inicial y asegurarse de que estuvieran en condiciones óptimas antes de su traslado al aserradero.

La segunda verificación se realizó en la cancha del aserradero, una vez que las trozas llegaron a su destino final. Esta etapa de verificación permitió comprobar si los dispositivos habían resistido el transporte y la manipulación durante el proceso de carguío y des carguío.

Además, se realizaron dos lecturas adicionales cada mes en la cancha del aserradero. Estas lecturas periódicas permitieron evaluar el rendimiento continuo de los dispositivos a lo largo del tiempo. Al realizar estas lecturas regularmente, se pudo detectar cualquier disminución en la funcionalidad de los dispositivos y tomar las medidas adecuadas para superar las limitantes que provocaron esta disminución de las lecturas, si fuera necesario.



Figura 5. Cuadro con las etapas Clave en el proceso de control.

2.5 Información de la troza

Cada dispositivo utilizado en el proyecto está asignado a un número de identificación único, el cual permite su asociación con una base de datos. En esta

base de datos se almacenó la información más relevante sobre la procedencia y características de la troza en la cual se ha implantado el dispositivo.

Además, la base de datos también registró la funcionalidad de los dispositivos en las cuatro etapas de lectura mencionadas anteriormente. Estas etapas incluyen la verificación después de la instalación en el predio de la cancha, en la cancha del aserradero y las dos lecturas mensuales adicionales en el aserradero. El control de la funcionalidad en estas etapas permite evaluar y monitorear la funcionalidad de los dispositivos a lo largo del tiempo.

2.6 Creación de aplicación para el monitoreo

Se desarrolló una aplicación utilizando AppSheet, la cual se encuentra vinculada a una hoja de Excel alojada en Google Drive (Figura 6). Esta configuración permite que cualquier persona con acceso pueda acceder a toda la información relacionada con la troza y su control, desde el predio hasta el aserradero.

Mediante esta aplicación, es posible trabajar desde un dispositivo móvil, como un celular, al conectar el lector RFID al puerto USB. Al escanear el código de identificación, la aplicación nos dirige automáticamente a la fila correspondiente en la hoja de Excel que contiene dicha información.

A través de esta interfaz, se puede ingresar y registrar toda la información necesaria para llevar un control completo de la troza en cuestión. Esto incluye

datos como la procedencia de la troza, las etapas de lectura, la funcionalidad de los dispositivos y cualquier otro detalle relevante.

La ventaja de utilizar una aplicación vinculada a una hoja de Excel en Google Drive es que permite un acceso fácil y rápido a la información desde cualquier lugar con conexión a internet. Además, la aplicación en AppSheet proporciona una interfaz amigable que simplifica el proceso de ingreso y visualización de datos.

The screenshot displays the AppSheet mobile application interface, which is used for data entry and control. The interface is divided into two main sections: a list of data entries on the left and a detailed form on the right.

Data Entry List (Left):

- Each entry consists of a unique ID (e.g., 990,000,004,969,142) and the species name "Nothofagus dombeyi".
- Each entry has a trash icon and an edit icon.
- A blue circular button with a white plus sign is located at the bottom right of the list, indicating the option to add a new entry.

Data Entry Form (Right):

- Código:** A text field containing the value "990000004969142".
- Especie de fabricación:** A dropdown menu showing "Nothofagus dombeyi".
- Fecha:** A date picker showing "04/10/2023".
- Origen:** A text field containing "Fundó membrillar y Colihueco".
- Destino:** A text field containing "Aserradero Bucalemu".
- Largo(m):** A text field containing "4".
- Control N° 1, 2, 3, 4:** Each control has two buttons: "N" (No) and "Y" (Yes). The "Y" buttons are highlighted in blue.
- Buttons:** "Cancel" and "Save" buttons are located at the bottom of the form.

Figura 6. Aplicación móvil para el control y registro de datos.

2.7 Tolerancia a la humedad

Con el fin de evaluar el comportamiento de los dispositivos frente a condiciones de humedad, se seleccionaron dos de ellos, uno de cada especie, y se colocaron en un contenedor con agua (Figura 7). Este contenedor fue monitoreado semanalmente para verificar si los dispositivos siguen funcionando correctamente.

Además de evaluar la funcionalidad de los dispositivos, se llevó a cabo un control para determinar si su rango de lectura se mantiene o disminuye bajo estas condiciones de humedad.

El monitoreo regular del funcionamiento y el rango de lectura de los dispositivos en el contenedor con agua proporciona datos sobre su capacidad para resistir la humedad y su durabilidad en situaciones similares. Estos resultados fueron utilizados para respaldar la propuesta de funcionamiento en condiciones de riego por aspersión en terreno



Figura 7. Evaluación de resistencia a la humedad.

III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de los cuatro controles establecieron una funcionalidad del 100% (Tabla 3), lo que respalda la premisa inicial de nuestra investigación: la viabilidad de desarrollar un dispositivo RFID implantable. Estos dispositivos se diseñaron utilizando tarugos de madera con una densidad superior a la de la troza, demostrando su capacidad para mantener una emisión de radiofrecuencia constante y estable incluso bajo condiciones de transporte y almacenamiento en cancha bajo riego por aspersión.

Tabla 3. Funcionalidad del dispositivo en las cuatro lecturas.

Control	Funcionalidad (%)
1	100
2	100
3	100
4	100

A pesar de la efectividad de estos dispositivos una vez insertados en la troza, se evidenciaron ciertas limitaciones durante su implantación experimental. Se detectó la fractura de algunos dispositivos de *Nothofagus dombeyi* al ser golpeados para su fijación en la medula de la troza. Esta situación conllevó la necesidad de realizar una perforación previa de un diámetro menor al del dispositivo para asegurar su sujeción, para luego implantarlos bajo presión o

mediante golpes suaves. Por otro lado, los dispositivos de *Robinia pseudoacacia* no manifestaron este problema durante su implantación, aunque se optó por aplicar la misma técnica para ambas especies, manteniendo así un procedimiento uniforme.

El primer control se llevó a cabo una vez que los dispositivos ya estaban insertos en la medula de las trozas (Figura 8). Los dispositivos fracturados no influyeron en los resultados finales, ya que simplemente se extraían y se reemplazaban por uno nuevo. Bajo estas condiciones, en la primera lectura, se observó que la totalidad de los dispositivos funcionó correctamente, confirmando su plena funcionalidad inicial.



Figura 8. Dispositivos instalados y primera lectura en cancha del predio.

La segunda lectura se enfocó en analizar el impacto de los golpes durante el carguío y el descarguío de las trozas (Figura 9). Los resultados fueron favorables, ya que el 100% de los dispositivos funcionó correctamente. Esta validación reafirmó que los golpes asociados a estas actividades no tienen un efecto significativo en el funcionamiento de los dispositivos.



Figura 9. Segunda lectura en cancha del aserradero.

Para la tercera lectura, programada un mes después de que las trozas llegaran a la cancha del aserradero y estuvieran bajo riego por aspersión, se buscó evaluar el impacto del agua en los dispositivos (Figura 10). En esta fase, la totalidad de los dispositivos emitió lectura correctamente, indicando que, durante el periodo evaluado, el agua no afectó negativamente el rendimiento de los dispositivos.



Figura 10. Tercera lectura luego de un mes bajo riego por aspersión.

Posteriormente, se realizó una cuarta lectura un mes después, con el propósito de confirmar si la tendencia de no afectación por el agua continuaba (Figura 11). Los resultados de esta cuarta lectura mostraron, nuevamente, un funcionamiento

correcto en la totalidad de los dispositivos, reafirmando la resistencia del dispositivo frente al impacto del agua.



Figura 11. Cuarta y última lectura luego de dos meses bajo riego por aspersión.

La aplicación móvil desarrollada se convirtió en una herramienta de extraordinaria utilidad para el monitoreo eficiente y ágil de los dispositivos implantados. Su característica destacada radica en su capacidad para realizar un control exhaustivo de todas las trozas en un tiempo de aproximadamente 10 minutos, lo cual resultó ser un avance significativo en términos de eficiencia y gestión, permitiendo realizar un seguimiento detallado de cada dispositivo implantado en las trozas de manera rápida y precisa. Uno de los aspectos más notables de esta herramienta es su funcionamiento sin conexión a internet, lo que demostró ser especialmente valioso en entornos forestales remotos donde la conectividad es limitada o nula.

La interfaz intuitiva de la aplicación facilitó el control y registro de los dispositivos, proporcionando una plataforma amigable para la recolección de datos en tiempo real (Figura 12). Esto permitió una identificación inmediata de cualquier dispositivo que presentara fallas o anomalías, posibilitando una respuesta rápida y eficaz ante cualquier problema detectado.

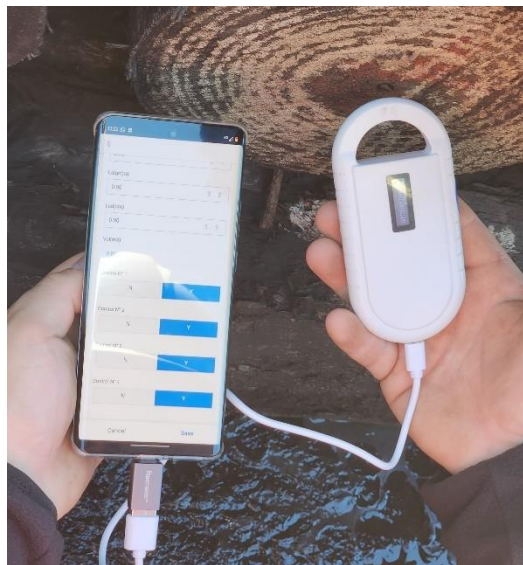


Figura 12. Control de funcionalidad a través de aplicación móvil.

Cada uno de los registros llevados a cabo se realizó con un intervalo de tiempo predefinido, cuidadosamente ajustado en función de la disponibilidad de tiempo. Las dos primeras lecturas fueron llevadas a cabo el 4 de octubre de 2023, mientras que la tercera tuvo lugar el 16 de noviembre y la cuarta y última el 18 de diciembre de ese mismo año. En cada una de estas instancias, se recopilaban datos clave, como el código, especie de fabricación, fecha, origen, destino,

diámetro y largo. Además, se documentaron todos los controles correspondientes, detallados de manera exhaustiva en la tabla número 5 para una comprensión completa y precisa de la información recopilada.

IV. DISCUSIÓN

El proyecto en cuestión tiene como objetivo la creación de un dispositivo basado en tecnología RFID, diseñado y construido de manera local con madera para disminuir costos y aprovechar al máximo las bondades de esta. Su función principal radica en optimizar la trazabilidad de las trozas y reducir las pérdidas económicas ocasionadas por el robo de estas. Tras someter el dispositivo a un riguroso control en diversas circunstancias, se ha evidenciado un alto porcentaje de funcionalidad, lo que confirma su potencial como una herramienta para disuadir el robo.

La versatilidad de este dispositivo se manifiesta en su capacidad para permitir el seguimiento y gestión de inventario, por lo cual puede convertirse en una herramienta crucial en la lucha contra el robo de trozas. Al contener información detallada sobre la procedencia de estas, este dispositivo se vuelve fundamental en situaciones de decomiso o sospecha de extracción ilegal. La posibilidad de verificar la propiedad de las trozas en caso de decomiso mediante el acceso a la información almacenada en el dispositivo permite comprobar de manera efectiva si estas fueron extraídas de un predio específico. Esta capacidad de rastrear la procedencia de las trozas constituye un recurso invaluable para propietarios forestales, ya que posibilita la identificación y recuperación posterior de trozas robadas.

Al estar elaborado principalmente con madera, resuelve por completo la problemática que implica la presencia de otros materiales en ciertos procesos de conversión. En situaciones específicas, como en el pulpaje, donde la minimización de impurezas es crucial, se requiere una materia prima libre de otros elementos. En caso de que se detecten, se somete a un proceso de filtrado antes de su introducción en la maquina papelera (Mallqui Rojas, 2016), y el diseño en madera soluciona esta complejidad.

Una de las ventajas más destacadas es su discreción. Gracias a su color y forma que imita la médula de la troza, resultando difícil detectarlo a simple vista. La facilidad de instalación y control posterior añade otro nivel de conveniencia. El dispositivo opera con una aplicación, lo que permite la revisión y modificación del registro desde cualquier dispositivo con acceso compartido a la hoja de cálculo. Al conectar el lector a un dispositivo móvil, se pueden leer y verificar el funcionamiento de cada dispositivo de manera independiente, sin requerir conexión a internet en tiempo real. Los registros se almacenan en la interfaz hasta que se restablezca la conexión a internet, momento en el cual los datos modificados se sincronizan con la base de datos general.

A pesar de las numerosas cualidades positivas que presenta el dispositivo, es importante destacar algunas de sus limitaciones que podrían afectar su desempeño y aplicabilidad en ciertos escenarios. Una de las falencias más significativas se relaciona con la distancia de lectura del dispositivo RFID. Actualmente, su alcance se limita a aproximadamente dos centímetros de la

troza. Esto se debe a que el microchip se encuentra ubicado a una distancia de dos a tres centímetros dentro del dispositivo, lo que en conjunto ofrece un rango de lectura de aproximadamente cinco centímetros.

Esta limitación en la distancia de lectura conlleva consecuencias importantes, especialmente en lo referente a la posibilidad de implementar el dispositivo de manera más aleatoria en diferentes áreas de la troza con el fin de reducir al máximo su visibilidad para individuos externos. La intención sería garantizar la discreción y seguridad del dispositivo en su función de rastreo. Sin embargo, la distancia limitada de lectura dificulta esta estrategia, ya que el dispositivo no puede ser ubicado en zonas específicas de la troza sin comprometer su efectividad.

Si bien esta falencia podría solventarse con la implementación de microchips y equipos de lectura más sofisticados, esto se traduciría inevitablemente en un aumento en los costos de producción. Esta medida afectaría negativamente la accesibilidad del producto para el público al que originalmente estaba dirigido, contraviniendo el propósito inicial de ofrecer un dispositivo funcional a un costo accesible para todos.

Si realizamos comparativa entre el dispositivo elaborado a partir de madera y las alternativas disponibles actualmente en el mercado revela diferencias significativas que afectan su funcionalidad, accesibilidad y adaptabilidad a distintos escenarios.

Las alternativas existentes en el mercado ofrecen una gama de dispositivos con funciones similares, pero con características distintas. Estos dispositivos varían en precios desde los 500 pesos (Aliexpress, 2023a) hasta los 2400 pesos (Aliexpress, 2023b) por unidad, además del costo adicional por importación en algunos casos. Mayormente, su material de fabricación es plástico ABS, reconocido por su alta resistencia. Sin embargo, aunque esta resistencia es beneficiosa en términos de durabilidad, se vuelve desventajosa en procesos de conversión de la madera, especialmente en aquellos donde la presencia de otros materiales puede ser un problema.

Una desventaja importante de estas alternativas radica en su color. La mayoría de estos dispositivos se presentan en tonos oscuros, como negro o gris, lo que los hace fácilmente visibles a simple vista. Este aspecto es una ventaja para la rápida detección visual que buscan estas opciones. Sin embargo, choca directamente con el propósito del proyecto en cuestión, que apunta a no ser detectado fácilmente por terceros. El dispositivo elaborado en base a madera busca precisamente esa discreción visual, contrastando con la estrategia de las alternativas en el mercado.

Para garantizar el éxito y la adopción generalizada de estos dispositivos, es crucial enfocarse en la validación de su efectividad en condiciones reales de uso y en el desarrollo de estrategias sólidas de comercialización.

Además, es esencial recabar retroalimentación de los usuarios, como propietarios forestales, dueños de aserraderos y autoridades encargadas. Estas

experiencias reales respaldan la efectividad y la utilidad del dispositivo, generando confianza e interés en el mercado, además de proporcionar información valiosa para identificar áreas de mejora y ajustar el diseño o la funcionalidad del dispositivo según sea necesario. La difusión de estos testimonios, junto con datos objetivos sobre el rendimiento del dispositivo, puede ser un elemento clave para la aceptación generalizada y la adopción por parte de la industria forestal

Además de la validación técnica, es crucial desarrollar una estrategia de comercialización sólida que resalte las ventajas únicas del dispositivo basado en madera. La discreción visual y la capacidad de integración con los procesos de conversión de la madera son aspectos clave que deben destacarse en la estrategia de comercialización. La capacidad del dispositivo para mimetizarse con las trozas y su compatibilidad con los procesos de la industria maderera son factores que pueden influir en la decisión de adopción por parte de los usuarios.

El dispositivo RFID basado en madera representa una innovadora solución para optimizar la trazabilidad de las trozas y combatir el robo de madera en la industria forestal. Sin embargo, para llevar este dispositivo a otro nivel y maximizar su utilidad, es crucial considerar propuestas de mejora que aborden tanto la distancia de lectura del dispositivo como la expansión de su aplicación a niveles más amplios, como la lectura de cargas completas y la implementación de portales de lectura en puntos estratégicos del proceso de producción. Una

posibilidad es investigar la utilización de antenas RFID más potentes o de mayor sensibilidad, que puedan ampliar el rango de lectura sin requerir cambios drásticos en el diseño del dispositivo, con la finalidad de expandir su aplicación. Esto implicaría la instalación de portales de lectura en puntos estratégicos, como en el bosque o el aserradero, que puedan leer todos los dispositivos RFID presentes en un camión y almacenar la información en una base de datos centralizada.

La implementación de estos portales de lectura permitiría llevar un registro preciso del inventario de madera en tiempo real, tanto en el bosque como en el aserradero. Esto proporcionaría a los propietarios forestales una visión completa del flujo de madera, permitiéndoles ajustarse de manera más eficiente a las necesidades del mercado y optimizar la gestión de inventario.

En términos de costos, el dispositivo experimental creado tiene un valor aproximado de 550 pesos por unidad tal como lo detalla la tabla 4, lo cual resulta accesible en comparación con los precios mencionados de las alternativas existentes.

Tabla 4. Costos asociados a la fabricación del dispositivo RFID experimental.

Elemento	Valor (\$/ud)
Microchip 134,2 KHz	400
Tarugo de madera	100
Resina epoxi	50

Este valor se considera razonable, sobre todo al ponderar el valor de lo que se pretende proteger o inventariar. En productos de menor valor, puede representar hasta el 15% del total, tomando como ejemplo trozas de 16 cm de diámetro y 3.30 metros de longitud, cada una equivalente a 0.084 m³ y valuadas a \$40.000 por metro cúbico. Por otro lado, en productos de mayor valor, este costo puede reducirse al 0.5%, como en el caso de trozas podadas de 60 cm de diámetro y 2.65 metros de longitud, cada una con un volumen de 0.95 m³ y valoradas a \$100.000 por metro cúbico. Si el dispositivo se inserta solo en ciertas trozas como medida de disuasión contra el robo, el costo por metro cúbico se reduce significativamente. Además, el dispositivo experimental cuenta con el respaldo de una aplicación móvil, lo que le confiere una ventaja adicional frente a la posibilidad de importar un dispositivo que no posee respaldo en el país.

V. CONCLUSIONES

La investigación ha demostrado de manera concluyente que es posible desarrollar un dispositivo RFID implantable, utilizando tarugos de madera con densidad superior a la de la troza, capaz de mantener su capacidad de emisión de radiofrecuencia durante las condiciones de cosecha, transporte y almacenamiento bajo riego por aspersión.

La validación empírica confirma que este dispositivo en las condiciones testeadas y en el lugar que se insertó posee una funcionalidad del 100%. De esta manera, se confirma la hipótesis inicial planteada en este estudio. La efectividad de este dispositivo no solo abre la puerta para disuadir el robo de trozas y facilitar la recuperación de aquellas sustraídas, sino que también ofrece un recurso valioso para agilizar los procesos de inventario en las etapas de cosecha y en la gestión de la cadena de suministro. Esta tecnología, al ser viable y plenamente funcional, promete contribuir a mejorar la seguridad en la industria forestal y a optimizar sus operaciones, brindando una solución efectiva, económica y confiable en la gestión de los recursos madereros.

VI. BIBLIOGRAFÍA

Alexandres Fernández, S., Rodríguez-Morcillo García, C., & Muñoz Frías, J. D. (2006). RFID: La tecnología de identificación por radiofrecuencia.

Aliexpress. (2023a). Etiqueta de árbol NFC de 50 piezas, etiqueta de uñas tag213, gestión forestal, identificación de madera, impermeable, 144bytes, chip 213. Retrieved from https://es.aliexpress.com/item/1005002628240759.html?spm=a2g0o.detail.similar_items.12.3e8a6592uHZRg&utparam-url=scene%3Asearch%7Cquery_from%3A&pdp_npi=4%40dis%21CLP%2122379%2122379%21%21%2122.48%2122.48%21%402103247017094307897147642e065f%2112000021468283660%21sea%21CL%210%21

Aliexpress. (2023b). Inserto de remache de gestión de identificación de madera, etiquetas rfid, seguimiento de árboles, 840-960mhz, de largo alcance pasivo, UHF, etiqueta de clavo, uhf, rfid. Retrieved from <https://es.aliexpress.com/i/32955586006.html>

Ananias, R. (2002). Modelación del secado de coigüe a temperatura convencional. *Floresta*, 108-113.

Cobas, A. C., & Monteoliva, S. E. (2018). Duramen y propiedades físicas de la madera de Robinia pseudoacacia en relación a su potencial uso en la industria de la madera sólida. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 117.

Delmastro Naso, R., Díaz-Vaz, O., & Schlatter, V. (1980). Variabilidad de las características tecnológicas hereditarias del *Pinus radiata* (D. Don). Biblioteca Digital INFOR.

Huamán, M. R., & Loayza, D. E. B. (2014). Radiofrecuencia de identificación (RFID): microtecnología de gran impacto. *Revista de investigación de Sistemas e Informática*, 7(2), 77-86.

Lagos Flores, R. (2023). La Metamorfosis: una exploración al narcotráfico, crimen organizado e insurgencia en Chile. *Revista de Ciencia e Investigación en Defensa - CAEN*, 4(1), 16-37. doi:10.58211/recide.v4i1.96

Mallqui Rojas, B. (2016). Proceso de producción de celulosa kraft y papel. *Academia.edu*.

Polanco, G. M., Escobar, A. D. O., & Benítez, R. Á. G. (2016). Sistema de identificación por radiofrecuencia (RFID) para control de caninos. *Multidisciplinas de la Ingeniería*.

Salgado, D. (2022). CMPC cifra en US\$50 millones pérdidas por robo de madera y pide medidas permanentes en Macrozona Sur. BioBio Chile.

Soto Aguirre, D., Gysling Caselli, J., Kahler González, C., Poblete Hernández, P., Alvarez González, V., Pardo Velásquez, E. Baeza Rocha, D. (2022). *Anuario Forestal 2022*.

VII. APÉNDICE

Tabla 5. Dispositivos instalados con su respectiva información

Código	Especie de fabricación	Diámetro cm	Largo m	Control N°1	Control N°2	Control N°3	Control N°4
990000010582032	<i>Robinia pseudoacacia</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582035	<i>Robinia pseudoacacia</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582088	<i>Robinia pseudoacacia</i>	28	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582050	<i>Robinia pseudoacacia</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582058	<i>Robinia pseudoacacia</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582025	<i>Robinia pseudoacacia</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582020	<i>Robinia pseudoacacia</i>	26	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582052	<i>Robinia pseudoacacia</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582040	<i>Robinia pseudoacacia</i>	28	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582060	<i>Robinia pseudoacacia</i>	22	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582036	<i>Robinia pseudoacacia</i>	28	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582092	<i>Robinia pseudoacacia</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582049	<i>Robinia pseudoacacia</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582089	<i>Robinia pseudoacacia</i>	26	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582046	<i>Robinia pseudoacacia</i>	28	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582094	<i>Robinia pseudoacacia</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582096	<i>Robinia pseudoacacia</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582045	<i>Robinia pseudoacacia</i>	28	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582074	<i>Robinia pseudoacacia</i>	28	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582001	<i>Robinia pseudoacacia</i>	28	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582083	<i>Robinia pseudoacacia</i>	28	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582064	<i>Robinia pseudoacacia</i>	28	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582016	<i>Robinia pseudoacacia</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582085	<i>Robinia pseudoacacia</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582039	<i>Robinia pseudoacacia</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000004969117	<i>Robinia pseudoacacia</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582055	<i>Robinia pseudoacacia</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582030	<i>Robinia pseudoacacia</i>	26	4.10	SI	SI	SI	SI
990000004969142	<i>Robinia pseudoacacia</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582077	<i>Robinia pseudoacacia</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI

990000010582021	<i>Nothofagus dombeyi</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582031	<i>Nothofagus dombeyi</i>	26	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582078	<i>Nothofagus dombeyi</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582018	<i>Nothofagus dombeyi</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582022	<i>Nothofagus dombeyi</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582005	<i>Nothofagus dombeyi</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582007	<i>Nothofagus dombeyi</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582014	<i>Nothofagus dombeyi</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582061	<i>Nothofagus dombeyi</i>	28	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582033	<i>Nothofagus dombeyi</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582006	<i>Nothofagus dombeyi</i>	26	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582041	<i>Nothofagus dombeyi</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582079	<i>Nothofagus dombeyi</i>	26	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582038	<i>Nothofagus dombeyi</i>	28	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582012	<i>Nothofagus dombeyi</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582070	<i>Nothofagus dombeyi</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582047	<i>Nothofagus dombeyi</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582054	<i>Nothofagus dombeyi</i>	26	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582073	<i>Nothofagus dombeyi</i>	26	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582069	<i>Nothofagus dombeyi</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582075	<i>Nothofagus dombeyi</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582009	<i>Nothofagus dombeyi</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582017	<i>Nothofagus dombeyi</i>	36	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582053	<i>Nothofagus dombeyi</i>	36	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582091	<i>Nothofagus dombeyi</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582081	<i>Nothofagus dombeyi</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582097	<i>Nothofagus dombeyi</i>	28	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582090	<i>Nothofagus dombeyi</i>	24	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582071	<i>Nothofagus dombeyi</i>	26	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582002	<i>Nothofagus dombeyi</i>	26	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582008	<i>Nothofagus dombeyi</i>	30	4.10	SI	SI	SI	SI
990000010582093	<i>Nothofagus dombeyi</i>	36	4.10	SI	SI	SI	SI