



Scientia Agropecuaria

Web page: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>

Facultad de Ciencias
Agropecuarias

Universidad Nacional de
Trujillo



RESEARCH ARTICLE

Non-destructive technique based on acoustic tomography for the identification of internal defects in trees

Técnica no destructiva basada en tomografía acústica para la identificación de defectos internos en árboles

Walter Enrique Angulo-Ruiz^{1,*} ; Hilter Fasabi-Pashanasi² ; Christian Paolo Rengifo-Pérez² ; Luz Nadir Valdivia-Marquez^{2,*} 

¹ Estación Experimental Agraria Pucallpa, Dirección de Desarrollo Tecnológico Agrario, Instituto Nacional de Innovación Agraria, Av. Centenario km 4 y 4.2, Coronel Portillo, Ucayali 25001. Peru.

² Estación Experimental Agraria Pucallpa, Dirección de Recursos Genéticos y Biotecnología, Instituto Nacional de Innovación Agraria, Av. Centenario km 4 y 4.2, Coronel Portillo, Ucayali 25001. Peru.

* Corresponding author: wangulo@inia.gob.pe (W.E. Angulo-Ruiz); luznavaldivia@gmail.com (L.N. Valdivia-Marquez).

Received: 11 August 2020. Accepted: 7 February 2021. Published: 25 February 2021.

Abstract

The present work shows the application of a non-destructive technique as a method for the identification of internal defects in marupa trees (*Simarouba amara* Aubl.) Located in forest plantations in the Ucayali region. This technique contemplated the use of an acoustic tomograph (ArborSonic 3D) that allowed obtaining tomograms that made it possible to analyze the cross section of the evaluated trees, showing the internal state of their shafts taken at different heights (0 cm, 40 cm, 90 cm, 130 cm and 160 cm). The results obtained made it possible to identify that the marupa trees did not present significant internal defects along their stems and damage was only reported at the base level at 0 cm from the ground. These results show the potential of using this non-destructive technique in forest plantations, thus contributing to the need to characterize standing wood, especially for commercial plantations.

Keywords: internal defects; non-destructive technique; acoustic tomograph; plantations; marupa.

Resumen

El presente trabajo muestra la aplicación de una técnica no destructiva como método para la identificación de defectos internos en árboles de marupa (*Simarouba amara* Aubl.) ubicados en plantaciones forestales en la región Ucayali. Esta técnica contempló el uso de un tomógrafo acústico (ArborSonic 3D) que permitió la obtención de tomogramas que hicieron posible analizar la sección transversal de los árboles evaluados, mostrando el estado interno de sus fustes tomados a diferentes alturas (0 cm, 40 cm, 90 cm, 130 cm y 160 cm). Los resultados obtenidos permitieron identificar que los árboles de marupa no presentan defectos internos significativos a lo largo de sus fustes y sólo se reportaron daños a nivel de la base a 0 cm del suelo. Estos resultados muestran el potencial de empleo de esta técnica no destructiva en plantaciones forestales, aportando de este modo a la necesidad de caracterizar la madera en pie en especial para plantaciones con fines comerciales.

Palabras clave: defectos internos; técnica no destructiva; tomógrafo acústico; plantaciones; marupa.

DOI: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.008>

Cite this article:

Angulo-Ruiz, W. E., Fasabi-Pashanasi, H., Rengifo-Pérez, C. P., & Valdivia-Marquez, L. N. (2021). Técnica no destructiva basada en tomografía acústica para la identificación de defectos internos en árboles. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 65-71.

1. Introducción

La creciente demanda de la madera, así como su limitada disponibilidad como materia prima procedente del bosque natural, incentiva a la instalación de plantaciones forestales para la provisión de madera, sin embargo, la calidad de este recurso debe ser controlada y

corroborada antes de ser procesada de forma industrial (Panebra-Salirrosas, 2019). Por tal motivo se hace necesaria la utilización de técnicas que permitan un mejor control de la madera desde la fase de plantación, y que permita identificar desde temprana edad los defectos externos e internos tales como nudos, grietas internas,

bolsas de resina, bolsas de corteza que dañan la sanidad de los fustes de los árboles y tienen un efecto significativo sobre la calidad final de la madera transformada, afectando dramáticamente el precio final de la misma (Rojas-Espinoza y Ortíz-Iribarren, 2010).

Es así que, surge el empleo de técnicas no destructivas como método para la evaluación de la calidad de la madera y para la identificación de sus defectos internos (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2018, 2019). Las principales ventajas de la utilización de métodos no destructivos en la evaluación de las propiedades de la madera comparados a los convencionales son la rapidez de la aplicación, confiabilidad de los resultados, reducción de pérdidas en el material evaluado y costos reducidos (Resende, 2011). Como parte de la evaluación no destructiva se encuentra el método acústico, siendo el segundo método más utilizado después de la clasificación visual, y que cada vez es más empleado en la evaluación del estado de la madera en pie y/o transformada (Basterrechea-Arévalo, 2016). En la actualidad se vienen empleando instrumentos acústicos que permiten estimar las propiedades internas de los fustes de los árboles; lo cual contribuye a la evaluación temprana de los mismos, siendo esto de gran importancia ya que permite contar con una herramienta orientada a definir el manejo más adecuado de estos recursos, pudiendo ser a través de una mejor planificación y toma de decisiones durante las actividades silviculturales y cosecha (Mendoza-Ardila, 2017). Entre los equipos más empleados en la evaluación no destructiva está el tomógrafo acústico (Arbosonic 3D), que permite detectar huecos no visibles, pudriciones o deterioro en el interior del tronco de un árbol en pie a partir de imágenes denominadas tomogramas (Fakopp Enterprise Bt., 2015).

En el Perú las investigaciones relacionadas al empleo de la tomografía acústica en especies forestales amazónicas (*Calycophyllum spruceanum* y *Cedrelinga cateniformes*) estuvieron orientadas a determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera (Bustamante, 2019; INIA, 2019). Asimismo, dos investigaciones contemplaron la aplicación de este método para la evaluación de defectos internos en árboles, una orientada a especies ornamentales como parte de un manejo preventivo (Mendoza-Saucedo, 2018) y otra enfocada a determinar la sanidad forestal de una plantación de tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Ducke) en Loreto (INIA, 2018). Los limitados antecedentes dejan un vacío en la aplicación de esta técnica para la identificación de defectos internos en otras especies forestales de interés comercial, lo cual permitiría cubrir la demandante necesidad de caracterizar la madera en pie (Winck et al., 2013).

De acuerdo con el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR, 2019), al año 2017 el Perú presentaba alrededor de 9,5 millones de hectáreas con potencial para la reforestación. Parte de esta superficie podría ser aprovechada para la instalación de plantaciones forestales con especies de rápido crecimiento, teniendo entre estas especies a la marupa (Panduro, 2014), la misma que ha cobrado gran importancia en la región amazónica peruana por presentar buena aptitud para la recuperación de áreas degradadas mediante la reforestación (CITEmadera,

2019), y cuya madera es calificada de buena calidad para el procesamiento industrial, además de ser insumo para la elaboración de diversos productos como molduras, paneles, cajonería, revestimientos, instrumentos musicales, pulpa para papel, entre otros (WWF, 2009).

En ese contexto, resulta necesario contar con técnicas que faciliten un oportuno manejo en plantaciones y que faciliten la identificación de defectos externos e internos en la materia prima (Rojas-Espinoza y Ortíz-Iribarren, 2010), así como orientar estos métodos a especies forestales de interés comercial. Es así como se desarrolló el presente estudio que tuvo por objetivo la aplicación de una técnica no destructiva para la identificación de defectos internos en árboles de marupa (*Simarouba amara* Aubl.) de plantaciones forestales ubicadas en la región Ucayali.

2. Materiales y métodos

2.1 Selección de árboles evaluados

Los árboles de marupa evaluados fueron seleccionados de dos plantaciones forestales. La primera plantación ubicada en el Anexo Experimental Alexander Von Humboldt, distrito de Alexander Von Humboldt (8°50'1" Sur y 75°3'18" Oeste), y la segunda plantación perteneciente a la Empresa Bosques Amazónicos, distrito de Campoverde (8°35'20" Sur y 74°47'18" Oeste), de acuerdo al Mapa Climático elaborado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2020a) ambas plantaciones se ubican en la zona denominada Selva tropical muy húmeda, cuyas principales características para esta zona es que presentan un clima muy lluvioso, cálido y muy húmedo, con invierno seco y abundante precipitación durante todo el año. Ambas plantaciones están ubicadas en la región Ucayali (Figura 1) y cuentan con nueve años de edad.

De cada plantación se seleccionaron doce árboles de marupa que fueron codificados previo a su evaluación. Los árboles de la plantación del Anexo experimental Alexander Von Humboldt fueron codificados con el prefijo VH seguido por el número de árbol (1, 2, ...12), en tanto que los árboles de la Empresa Bosques Amazónicos contaron con el prefijo BA seguido por el número de árbol (1, 2, ...12).

2.2 Uso del tomógrafo acústico

El estudio requirió el uso de un tomógrafo acústico ArborSonic 3D (Fakopp Enterprise Bt., Hungría); el mismo que se empleó como método no destructivo para la detección de los defectos internos en el fuste de los árboles de marupa. Este equipo estuvo conformado por varios elementos: *sensores* que fueron ubicados en toda la circunferencia de los árboles evaluados, *cajas amplificadoras* que permitieron la interconexión entre los sensores y una *batería* que hizo viable la conexión de las cajas amplificadoras hacia una *computadora* (que tuvo el *software ArborSonic 3D 5.3.125* necesario para el procesamiento de los datos). El funcionamiento de este equipo se basa en medir las ondas sonoras y de existir un hueco u otro defecto en el interior del fuste del árbol, las ondas sonoras lo rodearán, esto se traduce en un aumento del tiempo de recepción de estas ondas por los otros sensores (Fakopp Enterprise Bt., 2020).

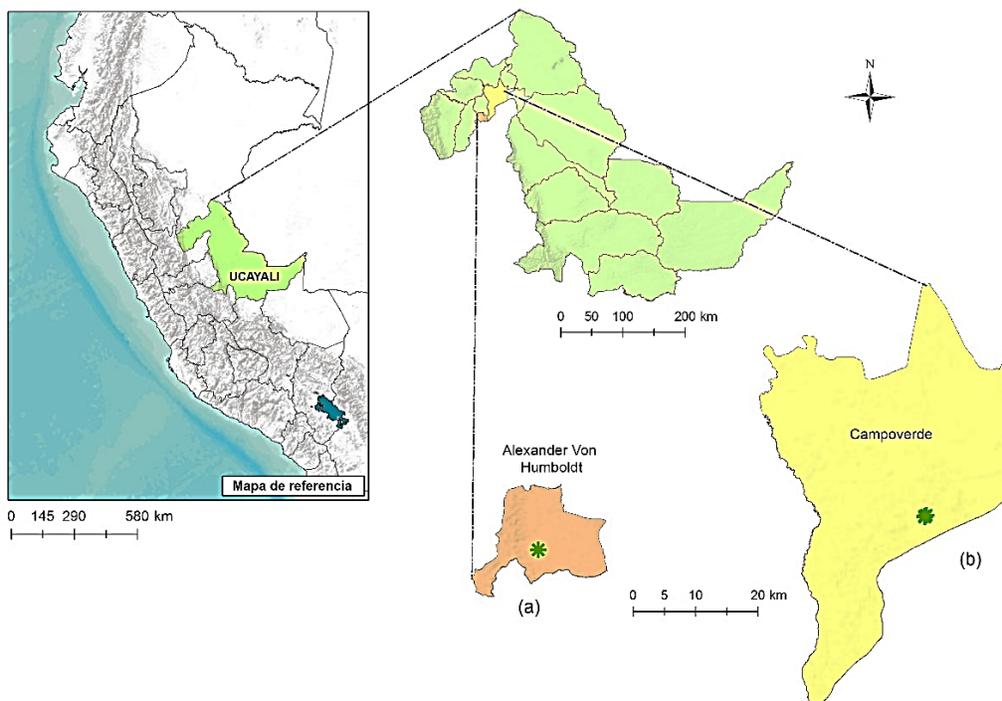


Figura 1. Mapa de ubicación de plantaciones de marupa: a) plantación del anexo experimental A. V. Humboldt; b) plantación de la empresa Bosques Amazónicos.

El empleo del tomógrafo acústico en el estudio consistió en el desarrollo de las siguientes acciones: el primer paso fue marcar la orientación del norte (mediante brújula) en el árbol evaluado y medir su circunferencia a la altura definida para la evaluación. Las alturas de evaluación fueron establecidas a: 0 cm, 40 cm, 90 cm, 130 cm y 160 cm desde el suelo (ver **Figura 2**). En el segundo paso, se introdujo al software ArborSonic 3D v5.3.125 los datos de circunferencia del árbol y altura a la que se realizó la evaluación, así como la cantidad de sensores a usar en el proceso, el software como resultado de esta acción indicó la distancia a la cual fueron colocados los sensores, los mismos que fueron ubicados equidistantes entre sí. Como tercer paso se insertaron alrededor del árbol los sensores, de tal modo que atravesaron la corteza, el primer sensor se colocó en la marca del norte (identificada en el primer paso) y en la medida cero de la circunferencia, a partir de este, se colocaron los demás sensores en sentido antihorario y orientados hacia el centro del árbol (de esta forma se mejora la transmisión acústica entre sensores adyacentes). El cuarto paso consistió en conectar los sensores a las cajas amplificadoras y luego estas a la batería con lo cual se estableció la conexión con la computadora (mediante cable USB). Finalmente, en el quinto paso se procedió a golpear cada sensor tres veces con un martillo de acero a fin de generar las ondas sonoras (la fuerza del golpe fue lo más uniforme posible). El software (ArborSonic 3D v5.3.125) usado cumplió la función de medir la velocidad (m/s) de las ondas sonoras en llegar a cada uno de los sensores, este proceso permitió la generación de imágenes denominadas tomogramas, donde cada color representa un rango de velocidad de las ondas sonoras. La representación del uso del tomógrafo acústico es presentada en la **Figura 3**.

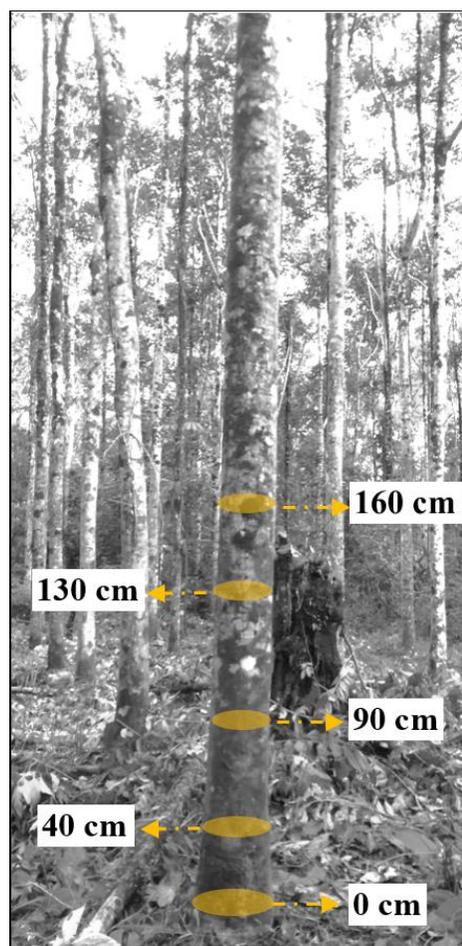


Figura 2. Representación de las alturas de evaluación en marupa.

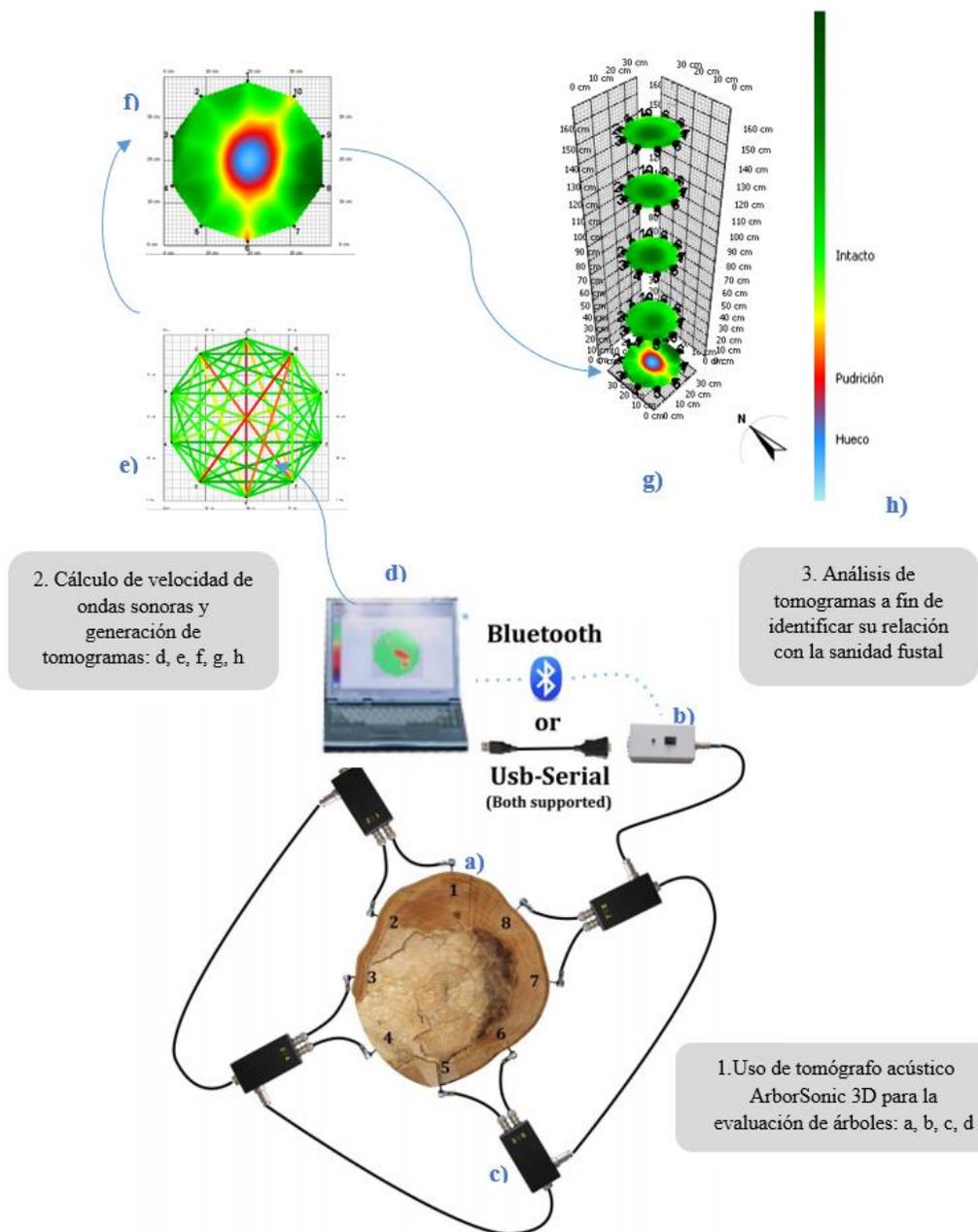


Figura 3. Flujo operativo de uso del tomógrafo acústico ArborSonic 3D: a) sensores; b) batería; c) cajas amplificadoras; d) computador y software ArborSonic 3D; e) malla de propagación radial y tangencial de las ondas sonoras; f) tomograma mostrando afectación interna del fuste vista 2D; g) tomogramas multi capa vista 3D; h) leyenda para tomogramas. Figura tomada y adaptada de **Fakopp Enterprise Bt. (2015)**.

2.3 Análisis de los datos

El análisis de los datos consistió en la interpretación de los tomogramas generados, lo que permitió identificar la presencia de defectos internos en los fustes de los árboles evaluados, así como estimar el porcentaje de este daño. Con estos valores se procedió a realizar un análisis de varianza mediante una prueba de Tukey ($p \leq 0,05$ significativo), a fin de identificar si existieron diferencias significativas en los resultados encontrados.

El presente estudio no contempló el análisis destructivo de los árboles evaluados, a fin de minimizar el impacto de intervención en las plantaciones analizadas. Asimismo, se

consideró la confiabilidad del método empleado basado en el estudio de **Mendoza-Saucedo (2018)** así como el de **Wang & Allison (2008)**, en los que este método permitió la efectiva identificación de defectos internos y cuya presencia fue corroborada mediante el método destructivo (tumba de árboles).

3. Resultados y discusión

Los resultados encontrados permitieron validar el uso del tomógrafo acústico como técnica no destructiva para la verificación del estado interno de los fustes de los árboles de marupa pertenecientes a plantaciones forestales,

aportando de este modo a la necesidad apremiante de caracterizar a la madera en pie, antes de que ésta sea destinada a las industrias, para asegurarse de que la madera cuente con un uso final más eficiente (Winck et al., 2013).

Entre las principales ventajas en la utilización en campo del tomógrafo acústico se tuvo, la rapidez en la evaluación, escaso daño a los árboles evaluados por ser una técnica mínimamente invasiva, lo cual evitó también pérdidas en el material evaluado, además de resultar una técnica menos costosa en comparación con la técnica destructiva. Estas ventajas coincidieron con lo precisado por Resende (2011).

El análisis de los tomogramas obtenidos para el total de árboles de marupa evaluados permitió identificar que, de los 24 árboles evaluados ocho presentaron defectos internos, seis pertenecientes a la plantación del Anexo Experimental Alexander Von Humboldt "VH" (Figura 4) y

dos a la plantación de la empresa Bosques Amazónicos "BA" (Figura 5). Estos defectos fueron ubicados principalmente en la base de los árboles a cero (0) cm del suelo. Un mayor análisis de los tomogramas, permitió verificar que en zonas intactas del fuste las velocidades de las ondas sonoras son mayores que en las zonas con algún tipo de daño (pudrición o hueco), lo cual corrobora lo precisado por INIA (2019), Fakopp Enterprise Bt. (2020) así como por Wang & Allison (2008). Asimismo, se identificó que la velocidad de las ondas sonoras varía incluso en un mismo árbol a diferentes alturas, y esto se debe a que la velocidad del sonido depende del medio en el cual se transmite, siendo mayor por ejemplo en los materiales más densos (Mendoza-Saucedo, 2018), además que la densidad básica varía considerablemente entre especies, entre árboles y dentro de árboles individuales (Omonte & Valenzuela, 2011).

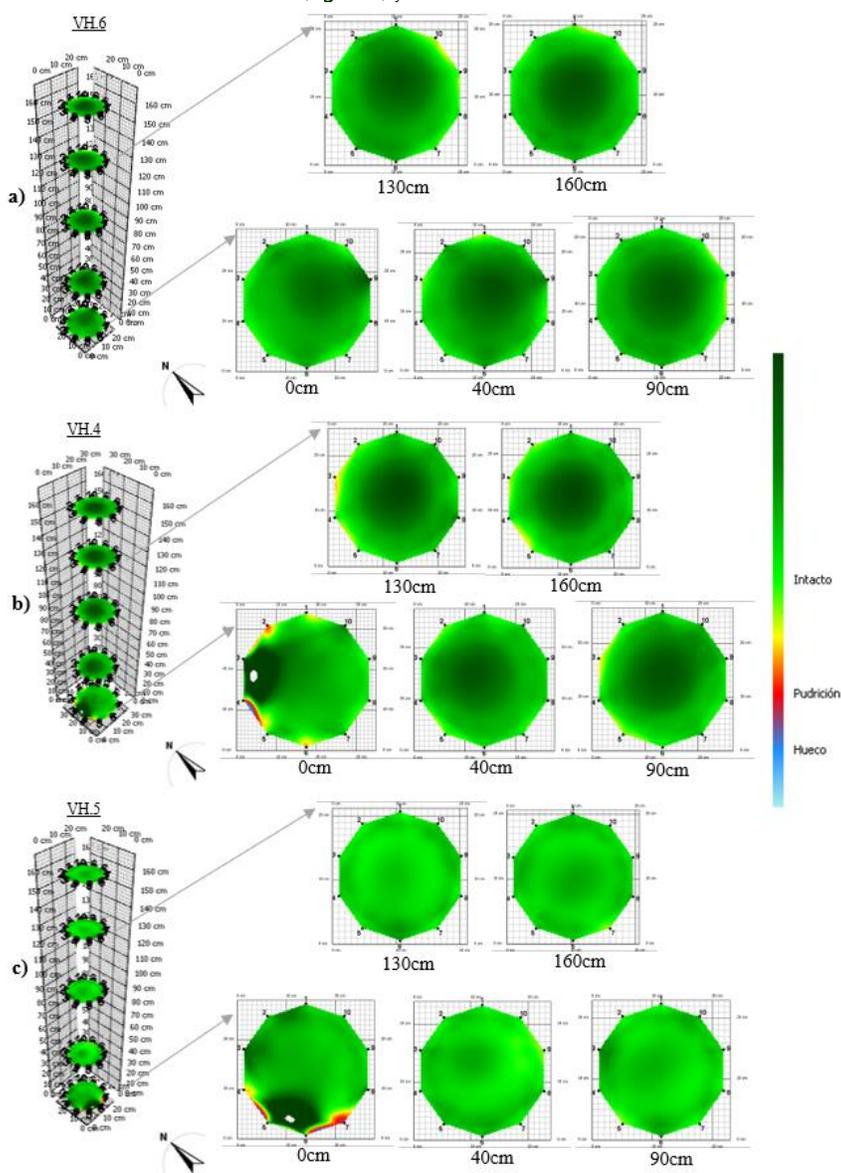


Figura 4. Tomogramas multi capa de los árboles de marupa del anexo experimental A.V. Humboldt. a) tomogramas de un árbol sano; b) y c) tomogramas reflejando 2% y 4% de afectación interna del fuste en la capa h1 = 0 cm.

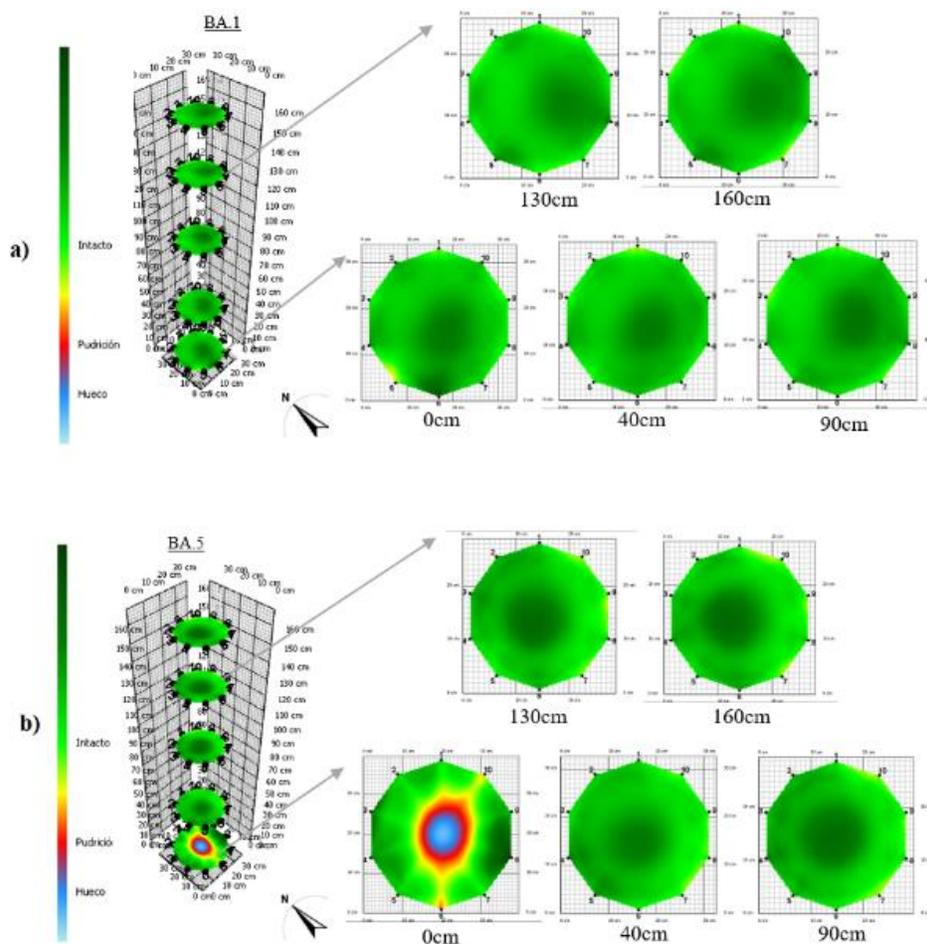


Figura 5. Tomogramas multi capa de los árboles de marupa de la empresa Bosques Amazónicos. a) tomogramas de un árbol sano; b) tomogramas que muestran el 23% de afectación interna del fuste en la capa h1 = 0 cm.

Por otro lado, el análisis de varianza permitió identificar que, no existieron diferencias significativas entre los árboles de marupa (procedentes de las dos plantaciones forestales) con relación a la presencia de defectos internos en sus fustes, esto debido a que el grado de afectación identificado entre ellos no comprometió gran porcentaje de sus fustes. Por otro lado, el análisis en los árboles a diferentes alturas (0, 40, 90, 130 y 160 cm) permitió identificar que, sólo los árboles afectados de la plantación VH presentaron diferencias significativas a la altura de evaluación a cero (0) cm del suelo (41% de los árboles de la plantación VH presentan afectación a 0 cm). Un análisis general identificó que del total de árboles evaluados (24), el 33% presentó afectación entre 1 a 23% al interior de sus fustes a cero cm del suelo.

El resultado de una mayor afectación de los árboles evaluados a cero cm del suelo estaría relacionado a que esta zona por estar al ras del suelo cuenta con mayor humedad, la misma que de acuerdo al estudio de **Mendoza-Saucedo (2018)** permiten las infestaciones de bacterias, hongos y nematodos patógenos, los cuales pueden infectar a las plantas; asimismo, aumenta la susceptibilidad de las plantas a ciertos patógenos. Este mismo autor indica que la aparición de enfermedades en las plantas en una determinada región se relaciona

estrechamente con la cantidad y distribución de la precipitación durante todo el año, lo cual explicaría porque la plantación VH presenta mayor porcentaje de árboles con afectación en su sanidad fustal en comparación con la plantación BA, ya que según **SENAMHI (2020b)** y los datos recopilados de la estación meteorológica ubicada en el anexo de la estación experimental Alexander Von Humboldt, la zona de la plantación VH registra una mayor precipitación anual acumulada que en la zona de la plantación BA, además que en la plantación VH se observó mayor presencia de hojarasca que ayuda a la retención de la humedad en el suelo.

Los bajos porcentajes de afectación a la sanidad fustal registrada en marupa se debería a que esta especie en pie suele ser resistente al ataque de insectos gracias a las sustancias amargas contenidas en su corteza (**WWF, 2009**), coincidiendo con **Ramos et al. (2016)** quienes precisan que la presencia de extractivos le confieren a la madera una resistencia significativa a la pudrición. Sin embargo, futuros estudios más exhaustivos son requeridos para corroborar estas ideas en las especies amazónicas.

Las principales limitantes en la aplicación de la técnica no destructiva en campo fueron: la presencia de malezas en

la plantación BA que dificultó la evaluación de los árboles, así como la pronunciada pendiente en la plantación VH lo cual conllevó a demoras en el desplazamiento hacia los árboles evaluados.

Por otro lado, los resultados del presente permiten sugerir el desarrollo de nuevos estudios orientados al análisis de las velocidades de las ondas sonoras y la caracterización del leño sano y afectado; y dentro de este último determinar qué tipo de defecto es el más recurrente para la especie marupa (pudrición, huecos u otros). Asimismo, a fin de validar la aplicación de este método en la especie marupa, se sugiere determinar el grado de correlación entre los resultados brindados por el tomógrafo acústico y lo que se pueda constatar mediante el método destructivo-visual. Finalmente, se considera que la técnica acústica no destructiva permite su aplicación en otras especies forestales de interés comercial (capirona, bolaina, tornillo, entre otras), orientado a la identificación del porcentaje de daño interno y por tanto la afectación de la sanidad fustal.

4. Conclusiones

El uso del tomógrafo acústico como técnica no destructiva permitió identificar que en árboles de marupa procedentes de plantaciones forestales la presencia de defectos internos tiene una mayor incidencia de daño interno a cero cm del suelo. Este hallazgo debe orientar el manejo silvicultural de esta especie a evitar la excesiva humedad en la base de los árboles, a fin de impedir la generación de afectación interna en el fuste por esta causa. Los resultados presentados servirán de base para futuros estudios que empleen la técnica acústica no destructiva como método para la identificación de defectos internos en otras especies forestales amazónicas, así como para la caracterización de estos defectos a partir de los rangos de velocidades de ondas sonoras que corresponden a leño sano y/o dañado (pudrición o hueco).

Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA por el apoyo financiero para el desarrollo del estudio en el Marco del Programa Presupuestal 130 “Aprovechamiento Eficiente de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre”. Así como a la Ing. Miriam Ramos León, personal del INIA por contribuir en el manejo del equipo tomográfico durante la obtención de la información en campo y a los técnicos Tulio Amasifuen del Aguila, Ramón Pacaya Manihuari y auxiliares de campo Eliseo Ruíz Saavedra, Ramón Lozano Panduro, Bernardo Pezo Tuanama y Venancio Palomino Salcedo. Del mismo modo, a la empresa Bosques Amazónicos S.A. por las facilidades brindadas para el empleo de sus plantaciones como parte del estudio. Finalmente, al Dr. Jorge Bendezu por las contribuciones realizadas al presente manuscrito.

ORCID

W. Angulo-Ruiz  <https://orcid.org/0000-0002-1030-4257>
 H. Fasabi-Pashanasi  <https://orcid.org/0000-0001-6548-1165>
 C. Rengifo-Pérez  <https://orcid.org/0000-0003-4257-4566>
 L. Valdivia-Marquez  <https://orcid.org/0000-0002-8021-330X>

Referencias bibliográficas

- Basterrechea-Arévalo, M. A. (2016). *Comparación de las técnicas no destructivas de tomografía ultrasónica y resistencia a la perforación en la evaluación de discos de madera*. Proyecto de Fin de Carrera, Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Bustamante, E. L. (2019). *Validación de un método no destructivo para medir módulo de elasticidad en trozas de Calycophyllum spruceanum de una plantación en Ucayali, Perú*. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal, Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- CITEmadera. (2019). Tecnología de secado para garantizar la calidad de la madera de plantaciones en el Perú. *Revista Xilema*, 29(1), 22–24.
- Fakopp Enterprise Bt. (2015). *ArborSonic 3D, Manual del usuario v5.1.30*. Recovered of: http://fakopp.com/docs/products/arborsonic/ArborSonic3D_ES.pdf
- Fakopp Enterprise Bt. (2020). Manual v 6.2 for the ArborSonic 3D acoustic tomograph. Recovered of: <http://upload.fakopp.com/manuals/Manual.en-USv6.2.1.pdf>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2019). *Caracterización radial de la densidad de la madera de Cedrelinga cateniformes y Calycophyllum spruceanum mediante el diseño de una red neuronal artificial utilizando imágenes tomográficas*. Informe técnico N° 4. CG Andina S.A.C. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2018). Estudio de Sanidad Forestal mediante Técnicas Acústicas no Destructiva de una Plantación Forestal “Tornillo” proveniente de la Región Loreto. Recovered of: http://repositorio.inia.gov.pe/bitstream/inia/732/1/Angulo-2018-Estudio_de_Sanidad-Forestal.pdf
- Mendoza-Ardila, V. M. (2017). *Pruebas no destructivas y destructivas de la madera de la especie Tachigali colombiana Dwyer (Guamo querré) procedente del bajo calima Municipio de Buenaventura, Colombia*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Forestal, Universidad de Tolima. Colombia.
- Mendoza-Saucedo, G. (2018). *Uso de métodos no destructivos para determinar el riesgo de caída de árboles urbanos, en el Parque de las Leyendas*. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal, Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- Omonte, M., & Valenzuela, L. (2011). Variación radial y longitudinal de la densidad básica en árboles de *Eucalyptus regnans* de 16 años. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 13(2), 211–224.
- Panduro, M. (2014). *Comportamiento inicial de las plántulas de marupa Simarouba amara Aublet sembradas en vivero con diferentes distanciamientos, Loreto, Perú* [Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana].
- Panebra-Salirrosas, P. I. (2019). *Evaluación no destructiva de la densidad en madera de plantaciones de dos especies forestales*. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal, Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- Ramos, H. M., Trujillo, F., Guzmán, D., & Araujo, M. (2016). Durabilidad natural de la madera de pino chuncho (*Shizobolium amazonicum* Huber. ex Ducke) a la acción de dos hongos de pudrición. *Revista Forestal Del Perú* 31(2), 81-89.
- Resende V. (2011). *Aplicação de métodos não destrutivos na avaliação das propriedades físicas do lenho de árvores de Pinus caribaea var. hondurensis Barr. et Golf. e Tectona grandis (L.f.)*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Brasil.
- Rojas-Espinoza, G., & Ortiz-Iribarren, O. (2010). Identificación del cilindro nudoso en imágenes TC de trozas posadas de *Pinus radiata* utilizando redes neuronales artificiales. *Maderas Ciencia y Tecnología* 12(3), 229–239.
- SENAMHI - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2020a). Datos Hidrometeorológicos de Ucayali. Recovered of: <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=ucayali&p=estaciones>
- SENAMHI - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2020b). Mapa Climático del Perú. Recovered of: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>
- SERFOR - Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2019). *Anuario forestal y de fauna silvestre 2017*. Recovered of: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/anuario-forestal-fauna-silvestre-2017>
- Wang, X., & Allison, R. B. (2008). Decay Detection in Red Oak Trees Using a Combination of Visual Inspection, Acoustic Testing, and Resistance Microdrilling. *Arboriculture & Urban Forestry* 34(1), 1-4.
- Winck, R. A., Fassola, H., Tomazello, M., & Area, M. (2013). *Empleo de ultrasonido para determinar propiedades físico mecánicas de Pinus taeda podados*. 4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. 24-27 octubre 2013.
- WWF - World Wildlife Fund. (2009). *Guía de Procesamiento Industrial: Simarouba amara*. Recovered of: https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/guia_marupa.pdf