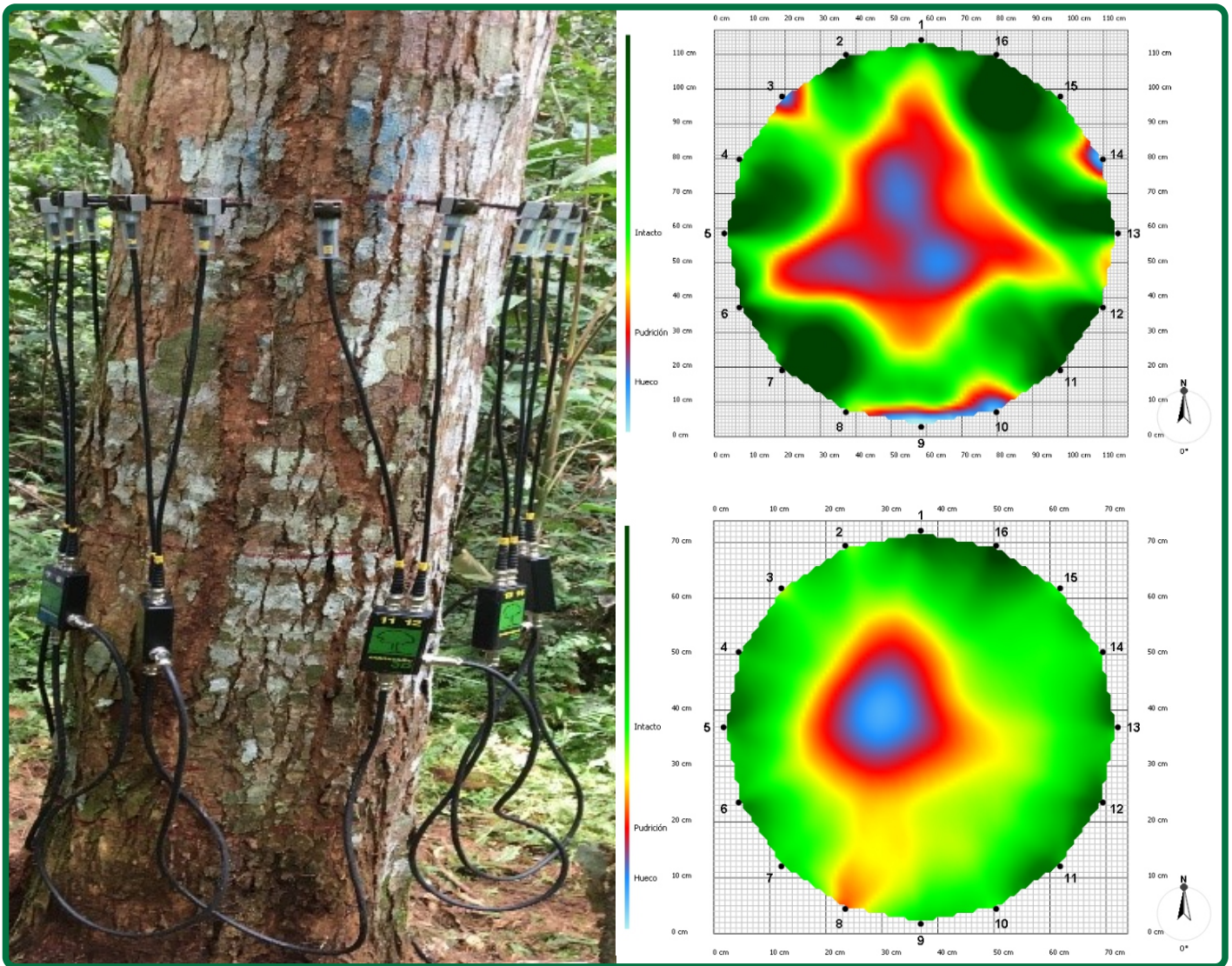


INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA

ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA PUCALLPA

“Estudio de Sanidad Forestal mediante Técnicas Acústicas no Destructiva de una Plantación Forestal “Tornillo” proveniente de la Región Loreto”



Wálter Ángulo Ruiz

Pucallpa, Enero 2018

PP 130 FORESTAL

“Competitividad y Aprovechamiento Sostenible
de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre”.

“Programa Nacional de Estudios e Investigación
para el Desarrollo Forestal y Cambio Climático”. - INIA

Autor:

Wálter Enrique Angulo Ruíz

Equipo Técnico:

Hilter Fasabi, Arturo Macedo, Miriam Ramos, Haru Garcia

Colaborador:

Paolo Rengifo

Editado por:

Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA
Carretera Federico Basadre Km. 4 - Pucallpa - Perú
Teléfonos: 061-571813 / 061-575751

Tiraje

1000 ejemplares.

PRIMERA EDICION, ENERO 2018
HECHO EL DEPOSITO LEGAL EN LA BIBLIOTECA
NACIONAL DEL PERÚ N° 2018 - 00029

IMPRESO EN:

IMPRESA DEL ORIENTE

DE: ELSA RENGIFO DE GONZALES

R.U.C. N° 10000382278

Jr. Salaverry N° 742

Pucallpa

INDICE

	Pag.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	1
2.1.Descripción de la especie de estudio.....	2
2.1.1.Descripción botánica.....	2
2.1.2.Distribución.....	2
2.1.3.Características de la madera.....	2
2.1.4.Utilidad.....	2
2.2.Plantaciones.....	2
2.2.1.Plantaciones en fajas de enriquecimiento.....	2
2.2.2.Plantaciones a campo abierto.....	3
2.2.3.Sistemas agroforestales.....	3
2.3.Tomografía acústica.....	3
III.MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
3.1.Ubicación de las plantaciones de <i>Cedrelinga</i>	4
3.1.1.Plantación de Tornillo de la UNAP.....	4
3.1.2.Plantación de tornillo, Anexo Experimental El Dorado – EEA San Roque.....	4
3.1.3.Plantación de Tornillo, km 50, carretera Iquitos – Nauta.....	4
3.2.Materiales.....	5
3.3.Distribución de las parcelas de evaluación.....	5
3.4.Diseño experimental.....	5
3.5.Distribución de los tratamientos.....	5
3.6.Metodología.....	6
IV.RESULTADOS.....	6
4.1.Análisis de varianza.....	6
V.CONCLUSIONES.....	8
VI.RECOMENDACIONES.....	8
VII.BIBLIOGRAFÍA.....	8

I. INTRODUCCION

La Región Loreto cuenta con una superficie territorial de 37' 990.006 has. En el año 2015, estadísticamente los bosques de producción permanente tuvieron una producción de madera rolliza de tornillo de 73, 691.51 m³; madera aserrada de 52, 429. 13 m³. Sin embargo presenta una superficie reforestada de 23, 479.87 has (acumulada al 2015) el mismo que incluye a varias especies comerciales.

Una de esas especies reforestadas es *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Ducke). Este espécimen en el bosque natural se le encuentra formando parte del estrato dominante y codominante, llegando a medir hasta 55 m de altura con 2.20 m de diámetro a la altura del pecho. Es un árbol grande, de buenas dimensiones, cuyo tallo recto es recto con una corteza agrietada de 1 a 2 cm de espesor, con grandes aletas y raíces superficiales. La madera presenta una densidad media de 0.45 gr/cm³ y una resistencia mecánica baja, es decir es suave y liviana estas bondades tecnológicas permite que sea usada en estructuras, carpintería, construcciones navales, carrocería, muebles, láminas de enchape, puntales y juguetería.

Los fustes de la madera proveniente de bosques naturales amazónicos muchas veces presentan el duramen podrido, la cual ocasiona una baja calidad de la calidad, y por ende disminución del volumen y precio de la madera. Estas peculiaridades se viene observando en las plantaciones juveniles de tornillo, marupa y pumaquiro, problema muy preocupante para los silvicultores y empresarios, tal es así que en este mundo de competitividad los empresarios e industriales se han vuelto muy exigentes en cuanto a la calidad de madera proveniente de plantaciones forestales, como es por ejemplo para la obtención de criterios de medición de la calidad, cada vez más representativos, facilita la formulación de modelos matemáticos para seleccionar las condiciones y estimar la vida en el almacenamiento, para efectuar el seguimiento de los procesos térmicos y no térmicos, y para estimar y controlar la degradación de los residuos presentes en los frutos. La determinación de la madurez en la madera depende de criterios técnicos, tecnológicos, económicos, biológicos y físicos. Razón por la cual el conocimiento de la especie, de las condiciones de sitio, la edad, propiedades físicas y mecánicas y características bioquímicas es esencial para hacer una mejor aproximación a la madurez. Ante estas indicaciones técnicas el Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA ente rector de la investigación mediante el Programa Presupuestal 130 Forestal a través del presente documento técnico brinda información silvicultural del estudio de sanidad forestal de plantación de tornillo de diferentes edades mediante técnica no destructiva mediante el empleo del equipo de tomografía acústica.

El objetivo principal del presente trabajo es determinar el grado de pudrición del fuste interno de plantación de tornillo de 18, 26 y 35 años mediante las imágenes del tomógrafo acústico.

II. ANTECEDENTES

Entre la década del 80 y 90 el Gobierno Peruano en la Amazonía Peruana, a través del Comité de Reforestación estableció plantaciones forestales, siendo la Región Loreto, una de las regiones tropicales donde se instalaron plantaciones forestales en áreas degradadas para fines comerciales, para lo cual emplearon diversas especies comerciales, siendo una de esas el tornillo, la misma que se encuentra plantado en el Área Experimental Forestal Puerto Almendra – UNAP, Anexo Experimental El Dorado – Estación Experimental Agraria San Roque - INIA, km 17 de la Carretera Iquitos – Nauta y en el predio del Sr. Rolando del Castillo López, ubicado en el km 50 carretera Iquitos – Nauta, donde muchas de las cuales no tuvieron el éxito esperado y lo poco que queda presentan síntomas de pudrición en su duramen.

La Región Loreto, cuenta con una superficie territorial de 37' 990. 006 hás y una superficie reforestada acumulada al 2015 de 23, 479. 87 has, siendo el tornillo una de las principales especies reforestadas, la misma que se encuentra instalada en los tres lugares indicados, cuya edad oscila entre 18 y 35 años.

Sin embargo hoy en día la tecnología nos presenta una amplia gama de técnicas no destructivas como es la vibración de baja frecuencia, las ondas de impacto, ultrasonidos y el tomógrafo. Además en estos últimos tiempos la investigación tecnológica ha ido avanzando como es el de crear técnicas portátiles

de fácil transporte y uso capaz de evaluar la calidad de la madera en plantaciones establecidas, con la finalidad de satisfacer inquietudes silviculturales con relación a la sanidad fustal de las plantaciones establecidas, la misma que permitirá determinar la calidad y valor de la madera proveniente de plantaciones forestales.

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE DE ESTUDIO

NOMBRE CIENTIFICO	:	Cedrelinga cateniformis Ducke (Ducke)
FAMILIA	:	MIMOSOIDEAE
NOMBRE COMERCIAL INTERNACIONAL:		Tornillo
NOMBRE COMUN	:	Tornillo (Huánuco, Oxapampa, Palcazú, Villa Rica); Huayra caspi (Iquitos)

2.1.1 Descripción botánica

Este espécimen en el bosque primario forma parte del estrato dominante y codominante, llegando a medir hasta 55 m de altura con 220 cm de diámetro a la altura del pecho (medición personal). Es un árbol grande, de tallo recto, corteza agrietada de 1 a 2 cm de grosor, con grandes aletas y raíces superficiales que posee diámetro pequeño y grande. Hojas alternas, glabras y bipinnadas. Presenta flores hermafroditas de color blanco. Inflorescencia terminal en pequeñas cabezuelas. Fruto legumbre, lomento membranoso, compuesto de 6 a 12 artejos plegados en zig – zag, oblongo ovals, que llegan a medir hasta 50 cm de longitud. La semilla es aplanada, en forma de habas, que tiene 2 cm de largo, 1.90 cm de ancho, 0.30 cm de espesor, pesa a 1,700 gr, es muy susceptible al ataque de hongos.

Fenológicamente la floración se inicia desde la segunda quincena de junio y finaliza al término de la primera quincena de setiembre; fructificación empieza de la segunda quincena de setiembre y termina al final de enero; maduración se da entre la quincena de enero a febrero; la diseminación entre la quincena de febrero y final de marzo. Algunos individuos pueden producir frutos y otro no. Su ciclo de semillación es cada tres años (INFOR-JICA, 1991). Cuando los frutos permanecen en las ramas de la copa son fuente de alimento de los loros que a su vez ocasionan la caída de las mismas.

2.1.2 Distribución

Se encuentra distribuida en Bolivia, Brasil, Colombia y Ecuador. En el Perú, en las regiones de Loreto, Ucayali, Junín, Huánuco. La altitud en la que se puede desarrollar esta especie va desde los 120 hasta los 800 msnm, con temperaturas promedio que varían de 22°C hasta 27°C y precipitaciones desde 2500 hasta 3800 milímetros.

2.1.3 Características de la madera

La madera es suave y liviana, con una densidad básica de 0.45 gr/cm³. El tronco recién cortado presenta las capas externas (albura) de color rosado y la capa interna (duramen) de color rojizo claro de forma regular, observándose entre ambas capas un gradual contraste de color. Olor distintivo, urticante al aserrarse. Lustre o brillo moderado a brillante. Grano entrecruzado. Textura gruesa.

2.1.4 Utilidad

Usada para pisos, estructuras de casas, armaduras, vigas, columnas y carpintería en general.

2.2 PLANTACIONES

La FAO (2004), lo define como bosques/ otras tierras boscosas de especies introducidas, y en algunos casos de especies indígenas, establecidas mediante la plantación o siembra, principalmente para la producción de productos maderas y no maderables.

2.2.1 Plantaciones en fajas de enriquecimiento

Las plantaciones de enriquecimiento son operaciones silviculturales que tienen por objeto introducir en el bosque natural aprovechado un porcentaje de especies valiosas con la finalidad de darle en el tiempo un valor económico rentable (Catinot, 1969).

2.2.2 Plantaciones a campo abierto

Las plantaciones a campo abierto están destinadas a la sustitución completa de la vegetación existente por un bosque artificial totalmente nuevo.

2.2.3 Sistemas agroforestales

Somarriba (1990), define a la agroforestería como una forma de cultivo múltiple en la que se cumplen tres condiciones fundamentales:

1. Existen al menos dos especies de plantas que interactúan biológicamente,
2. Al menos uno de los componentes es una leñosa perenne;
3. Al menos uno de los componentes es una planta manejada con fines agrícolas (incluyendo pastos).

2.3 TOMOGRAFÍA ACÚSTICA

La tomografía acústica puede realizarse por medio de ondas de impacto, sónicas o mediante ultrasonidos. De entre los métodos existentes para la evaluación de pudrición de árboles en pie, la tomografía se caracteriza por ser una técnica muy poco invasiva, capaz de ofrecer información de las secciones transversales enteras de cada individuo solo con una medición (Nicolotti et al. 2003, citado por Basterrechea, 2016).

La tomografía acústica se basa en la transformación de datos, que vienen dados como rangos de velocidad, en colores. Esto se lleva a cabo por medio de software que realiza la interpolación de los datos obtenidos en la malla de difracción (ver figura 1). Se llama malla de difracción ya que considera como si se estuviera midiendo la difracción de la onda, que parte de un único punto (transductor emisor) y es recibida por todos los puntos de la malla por medio del posicionamiento de los transductores receptores.

Con este procedimiento se generan muchas rutas de propagación de las ondas, cubriendo así en forma de malla de disco o el área de medición del árbol a evaluar.

La interpretación del resultado depende directamente del significado de cada color, que se corresponde con cada rango de velocidades. Así, el grado de acierto del diagnóstico está relacionado con el conocimiento de la relación que existe entre el rango de velocidades (o colores) y las propiedades mecánicas de la madera.

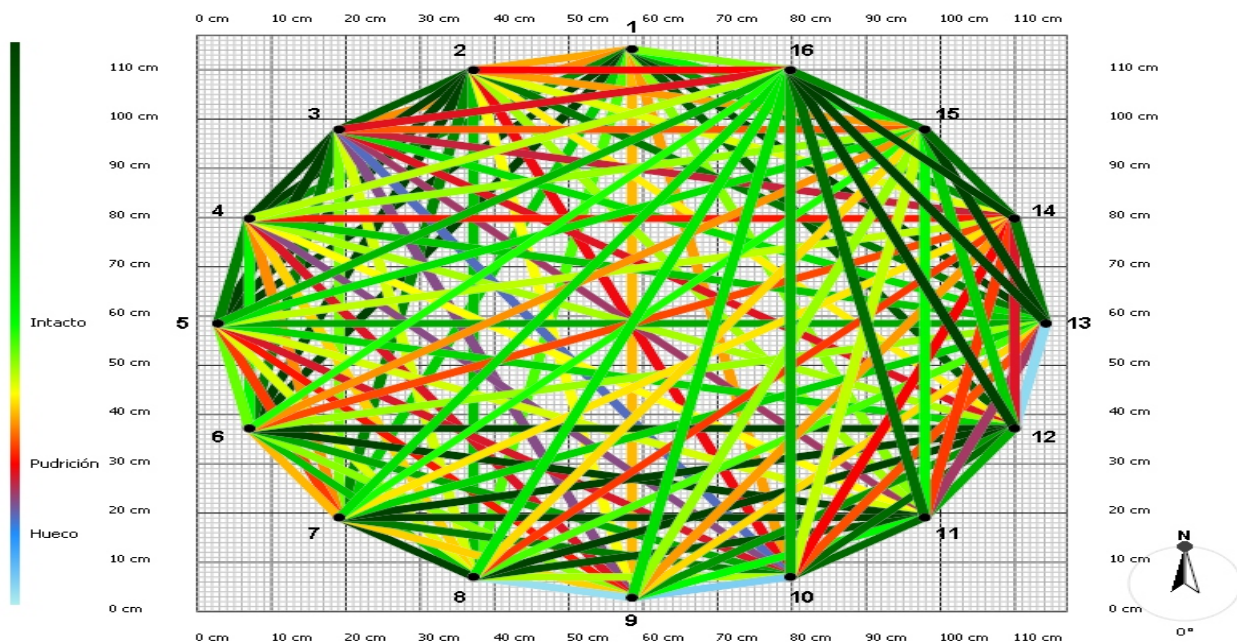


Fig. 1. Malla de difracción con indicación de las rutas de medición con propagación radial y tangencial (Fuente: Secco et al. 2011 y Basterrechea M.A.)

Es importante destacar que las direcciones de la velocidad de propagación de las ondas son radial y tangencial. Conforme a lo que se mencionó anteriormente, las velocidades radiales son superiores a las tangenciales, por lo que cabe esperar que la imagen tomográfica no sea homogénea, aunque el fuste sea íntegro. En el caso de la figura 1, la velocidad en la dirección 1- 12, dirección tangencial, será menor que en la dirección radial 1 – 9 (dirección radial) aunque no se encuentre ningún defecto en su recorrido. Esto es importante a la hora del análisis de la tomografía, ya que puede dar lugar a interpretaciones erróneas.

(Wang and Allison, 2008) llevaron a cabo los ensayos de tomografía acústica y resistencia con micro-taladro, además de la observación visual y pruebas de ondas de estrés sobre dos robles rojos (*Quercus rubra* L.) en Madison (Wisconsin). Estos estudios demostraron que la tomografía era capaz de detectar y determinar la magnitud de los daños del tronco, pero siempre requiriendo la precisión de la resistencia a la perforación para poder detectar las diferencias entre material en descomposición y sombras acústicas.

Sin embargo, en zonas deterioradas por hongos o termitas, la onda atraviesa un medio de propagación diferente, y esto afectará a su velocidad, pero no de forma evidente, como ocurre con otras particularidades del material. Teniendo en cuenta que en el caso de la madera no existe una velocidad de referencia como ocurre en otros materiales más homogéneos, el contraste o diferencia de velocidades se hace fundamental para la construcción de la imagen tomográfica (Trinca, 2015).

Por este motivo, esta investigación está siendo estudiada profundamente por muchos investigadores, los cuales buscan obtener resultados consolidados para generar un patrón de comportamiento que permita ser utilizado para diferenciar los tipos de degradación que presenta la madera y que puedan ser registrados mediante la tomografía.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación de las plantaciones de Cedrelinga

3.1.1 Plantación de Tornillo de la UNAP

Las plantaciones de tornillo de la UNAP, se encuentra ubicada en el Campo Experimental Forestal Puerto Almendra - UNAP, Distrito de San Juan Bautista, Provincia de Maynas, Región Loreto.

Coordenada : 18 M 0680414 UTM 9576557
Altitud : 99 msnm
Suelo : Ultisol
Textura : Franco arcilloso
Fisiografía : Plano
Edad : 35 años

3.1.2 Plantación de Tornillo en el Anexo Experimental El Dorado – EEA San Roque

Las plantaciones de tornillo del Anexo Experimental Agraria el Dorado – EEA San Roque, se encuentra ubicada en el Distrito de San Juan Bautista, Provincia de Maynas, Región Loreto.

Coordenada : 18 M 0675165 UTM 9564555
Altitud : 124 msnm
Suelo : Ultisol
Textura : Franco arcilloso
Fisiografía : Ondulado
Edad : 18 años

3.1.3 Plantación de Tornillo en el km 50, carretera Iquitos – Nauta

Esta plantación se encuentra ubicada en el km 50, carretera Iquitos – Nauta, Distrito de San Juan

Bautista, Provincia de Maynas, Región Loreto.
Coordenada : 18 M 0668924 UTM 9536509
Altitud : 104 msnm
Suelo : Ultisol
Textura : Franco arcilloso
Fisiografía : Ondulado
Edad : 26 años

3.2 Materiales

El material experimental para el estudio de sanidad fustal son las plantaciones de tornillo ubicados en cada uno de los sitios indicados líneas arriba. En el caso de la UNAP la especie fue instalada en un sistema de faja de enriquecimiento; del km 50, carretera Iquitos – Nauta, predio del Sr. Rolando del Castillo, sistema a campo abierto y en la Estación Experimental El Dorado en un sistema agroforestal.

3.3 Distribución de las parcelas de evaluación

Debido a la variabilidad topográfica de las área de plantación, en cada sitio se establecieron al azar tres parcelas de evaluación, cada una conformada por tres árboles (total 9 árboles).

3.4 Diseño experimental

Se utilizó el diseño de bloques completamente al azar, con un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. Cada repetición compuesta por cuatro capas ubicadas a diferentes altitudes del fuste (00, 40, 120, 160 cm), ver foto 1 y 2. Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS y la comparación de medias entre tratamientos (C1, C2, C3, C4) se utilizó la prueba de tukey. El número total de unidades experimentales o parcelas fueron 12 para UNAP, KM 50, EEA EL DORADO.

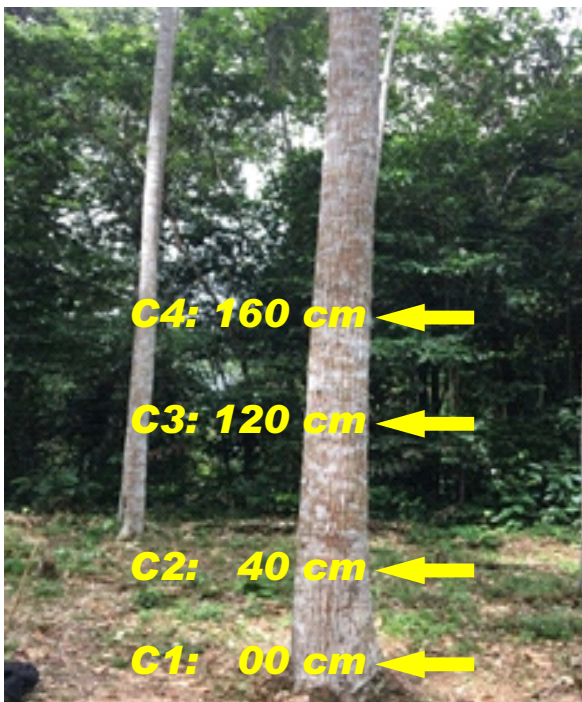


Foto 1. Distribución de las capas



Foto 2. Distribución de sensores

3.5 Distribución de los tratamientos

En el cuadro 1 se muestra la distribución de los tratamientos (capas) en cada uno de los sitios de plantación.

Cuadro 1. Distribución de los tratamientos

UNAP			KM. 50			EEA EL DORADO		
ÁRBOL 1	ÁRBOL 2	ÁRBOL 3	ÁRBOL 1	ÁRBOL 2	ÁRBOL 3	ÁRBOL 1	ÁRBOL 2	ÁRBOL 3
C1: 00 cm	C1: 00 cm	C1: 00 cm	C1: 00 cm	C1: 00 cm	C1: 00 cm	C1: 00 cm	C1: 00 cm	C1: 00 cm
C2: 40 cm	C2: 40 cm	C2: 40 cm	C2: 40 cm	C2: 40 cm	C2: 40 cm	C2: 40 cm	C2: 40 cm	C2: 40 cm
C3: 120 cm	C3: 120 cm	C3: 120 cm	C3: 120 cm	C3: 120 cm	C3: 120 cm	C3: 120 cm	C3: 120 cm	C3: 120 cm
C4: 160 cm	C4: 160 cm	C4: 160 cm	C4: 160 cm	C4: 160 cm	C4: 160 cm	C4: 160 cm	C4: 160 cm	C4: 160 cm

ICORIO EL DORADO

3.6 Metodología

La metodología consistió: Ubicación del árbol, determinación del nivel o altura en el fuste para la toma de datos (00, 40, 120, 160 cm), ubicación del norte, medición de la circunferencia del árbol en sentido antihorario, ingreso de la medición de circunferencia al programa, la distancia entre sensor y sensor y la cantidad es indicado por el programa, cada transductor es golpeado con un martillo de goma para generar ondas sonoras. Fakkopp 3D mide el tiempo entre transductores con una precisión de microsegundos y transmite los datos a una Tablet, PC.

IV. RESULTADOS

4.1 Análisis de varianza

En el cuadro 2 se muestra el resumen del análisis estadístico de varianza de los sitios de plantación y de las capas de la plantación de tornillo. Y en la figura 2 y 3 el porcentaje de pudrición por sitio de plantación así como a nivel de capas mediante prueba de tukey ($p < 0.05$).

Cuadro 2. Análisis de varianza

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Origen	GL	SC	CM	F	Sig.
Interceptación	1	1330.01	1330.01	39.84	0.000*
Sitio	2	1687.19	843.59	25.27	0.000*
Capas	3	92.99	30.99	0.929	0.430 ^{ns}
Error	102	3404.82	33.38	-	-
Total	108	6515.00	-	-	-

* = Significativo; n.s = No significativo, prueba de Tukey ($p < 0.05$), respectivamente.

Figura 2. Porcentaje de pudrición de tres sitios de plantación de Tornillo, Región, Loreto.
En cada sitio, las medias seguidas de una misma letra no difieren entre sí, prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

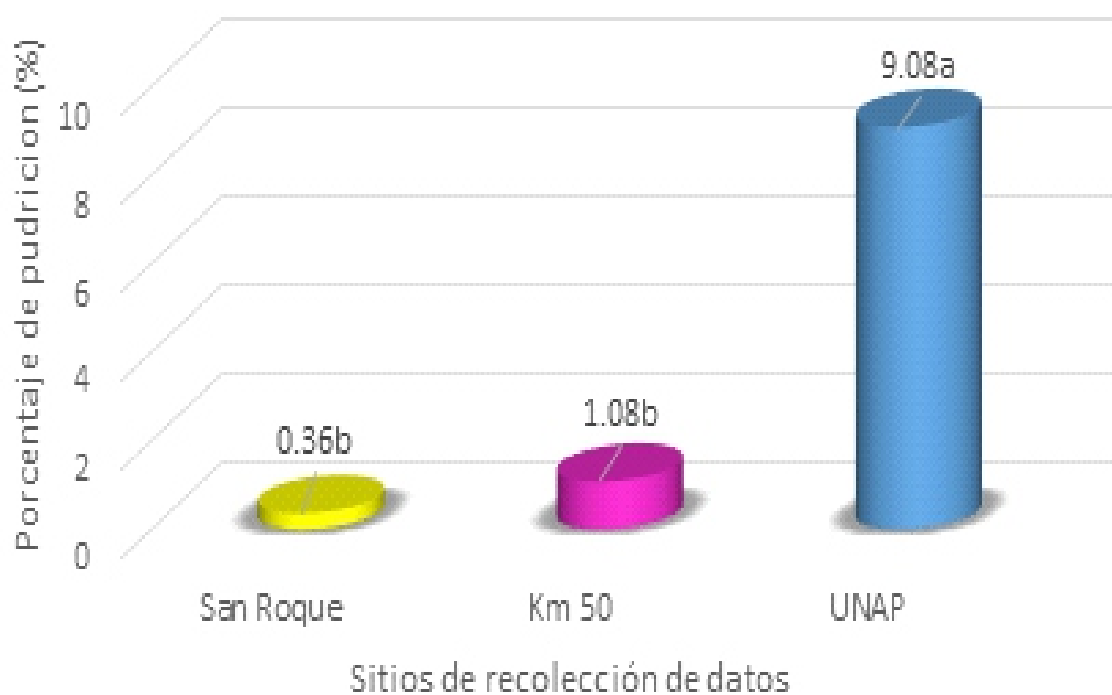
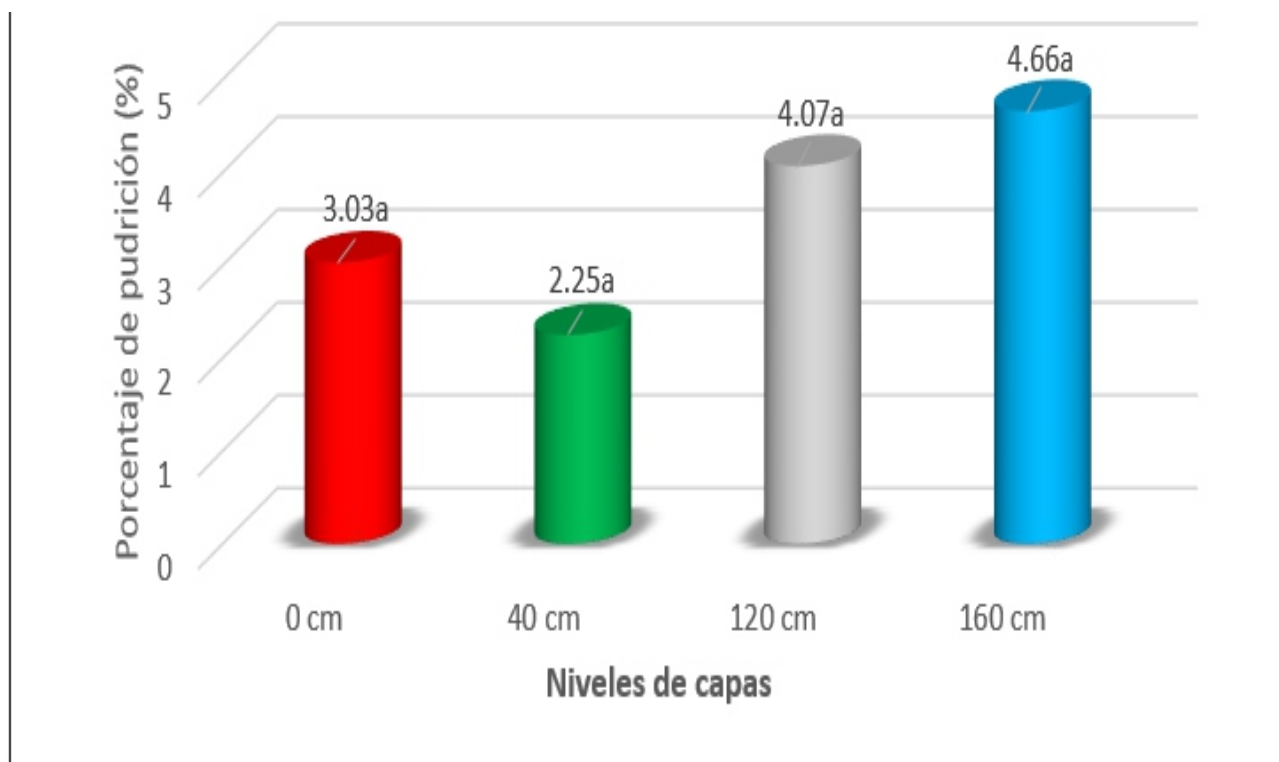


Figura 3. Porcentaje de pudrición de 4 niveles de capa de árboles de Tornillo, Región Loreto

En cada sitio, las medias seguidas de una misma letra no difieren entre sí, prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).



V. CONCLUSIONES

El resultado de análisis de varianza indica que existe diferencia significativa entre sitios de plantación. Mediante prueba de tukey se observa que hay diferencia significativa entre la plantación de la UNAP (9.08 a) versus las plantaciones del km 50 (1.08 b) y San Roque (0.36 b), ver figura 2. En términos silviculturales se aduce que los árboles de tornillo de la UNAP presentan mayor porcentaje de pudrición en el fuste. Finalmente se concluye que a nivel de capas no existe diferencia significativa, ver figura 3.

En términos silviculturales se puede concluir que todas las capas están en proceso de pudrición, estando más afectada la plantación de la UNAP por contar con más edad de instalación (34 años). Debido al estado de pudrición que presentan los árboles, las mismas que vienen produciendo semillas es posible que estas estén infectadas con el virus de pudrición, ya que genéticamente los genotipos transmiten todas sus características a los fenotipos.

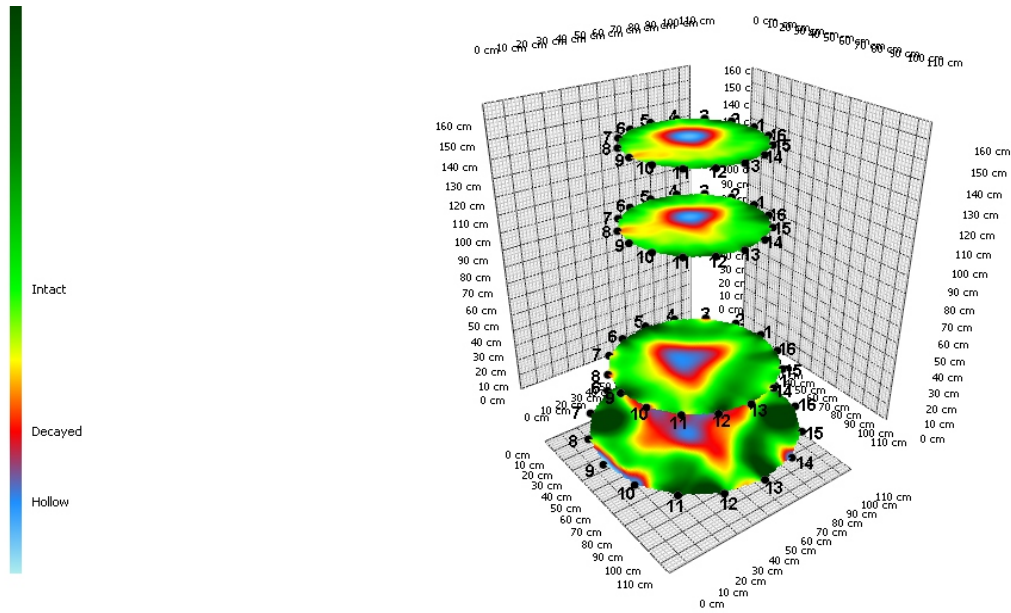
VI. RECOMENDACIONES

Este estudio de sanidad fustal mediante técnica acústica no destructiva permite determinar el estado sanitario fustal de las plantaciones por lo que se recomienda aplicar a otras especies como Marupa, Shihuahuaco, etc. Finalmente se recomienda tomar estrategias de manejo de la especie tornillo mediante la selección de árboles plus para realizar el mejoramiento genético con la finalidad de garantizar la sanidad, crecimiento y productividad de la plantación con fines económicos.

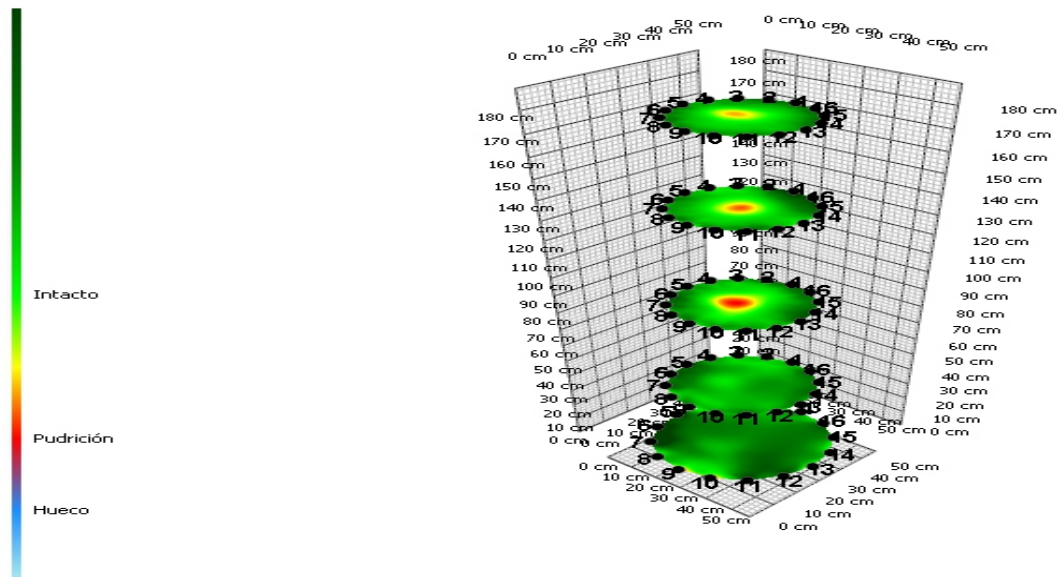
VII. BIBLIOGRAFIA

- Angulo W.; Fasabi H. 2016.** Rendimiento maderable de plantaciones forestales establecidas en cinco Regiones de la Amazonía Peruana. INIA – PP 130 Forestal. Pucallpa. 26 p.
- Acuña L. et al. 2001.** Clasificación de la madera de *Pinus sylvestris* L. mediante ensayos no destructivos. III Congreso Forestal Español. Granada.
- Basterrechea A. 2016.** Comparación de las técnicas no destructivas de tomografía ultrasónica y resistencia a la perforación en la evaluación de discos de madera. Tesis de ingeniero de Montes. UPM-UNICAMP. España. 91 p
- Catinot R. 1969.** Le éclaircs dans les peuplements artificiels de forêt dense Africaine. Principes de base et application aux peuplements artificiels d'okoumé. BFT (126).
- INFOR – JICA, 1991.** Monografías. Informe Final del Proyecto Estudio Conjunto sobre Investigación y Experimentación en Regeneración de Bosques en la Zona Amazónica de la República del Perú. Japón, INIAA-JICA. 114 p.
- Somarriba E. 1990.** Sistemas agroforestales. CATIE - Turrialba, Costa Rica.
- Trinca 2015.** Imagem da estrutura interna da árvore utilizando ultrassom. Relatorio de Pesquisa de Pós – Doutorado, FAPESP. 91 p.
- Wang & Allison. 2008.** Decay detection in Red Oak trees using a combination of visual inspection, acoustic testing, and resistance microdrilling. *Arboriculture & Urban Forestry*. 34 (1), Pp. 1 – 4.

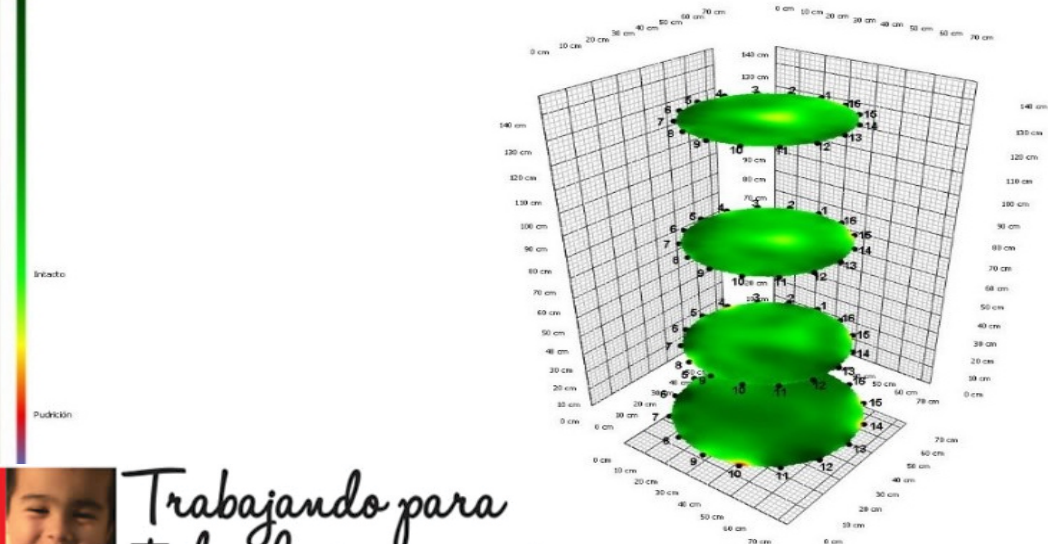
Análisis tomográfico de la plantación de la UNAP. 4 Multicapa



Análisis tomográfico de la plantación del Km 50. 4 Multicapa



Análisis tomográfico de la plantación del Dorado. 4 Multicapa



Trabajando para
todos los peruanos