

**MODELO TÉCNICO PARA EVALUACIÓN Y ANÁLISIS CON RESISTOGRAFÍA PARA EL
ARBOLADO URBANO DEL DISTRITO CAPITAL**

**SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE
DIRECCIÓN DE CONTROL AMBIENTAL
SUBDIRECCIÓN DE SILVICULTURA, FLORA Y FAUNA SILVESTRE
BOGOTÁ, DICIEMBRE DE 2018**

TABLA DE CONTENIDO

1. PRESENTACIÓN	5
2. ANTECEDENTES	6
3. EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA DE ÁRBOLES MEDIANTE MÉTODOS MECÁNICOS.....	7
3.1 Resistógrafo	7
3.1.1 Principio de funcionamiento	8
3.1.2 Datos obtenidos-perfil resistográfico	9
3.1.3 Interpretación de resultados	9
3.1.4 Ventajas y limitaciones	10
3.1.5 Importancia y utilidad de uso del resistógrafo en árboles urbanos.....	11
3.1.6 Tipos de equipos	11
4. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN SILVICULTURAL CON RESISTOGRAFÍA	12
4.1 Cuándo es necesario realizar una evaluación con resistógrafo?	12
4.2 Diagrama de decisión para utilización y operación del equipo	13
4.3 Componentes del resistógrafo.....	14
4.4 Protocolo para uso, operación del resistógrafo Rinntech y obtención de datos con el software DECOM	15
5. ANALISIS DE DATOS DEL PERFIL RESISTOGRÁFICO E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	23
6. ANÁLISIS DE CASO: CORRELACIÓN DE TOMOGRAFÍAS Y LECTURAS DE RESISTÓGRAFO PARA 6 ESPECIES DEL ARBOLADO URBANO.....	32
6.1 Alcance y metodología.....	32
6.2 Análisis estadístico	32
6.3 Resultados.....	32
7. DETERMINACION DE LAS RECOMENDACIONES DE MANEJO SLVICULTURAL	34
8. MODELO DE FICHA TÉCNICA DE REGISTRO- EVALUACIÓN TÉCNICA DEL ARBOLADO CON TOMÓGRAFO Y RESISTÓGRAFO	35
9. CONCLUSIONES.....	38
10. BIBLIOGRAFIA	39

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 Penetrómetro (pilodyn) Fuente: www.gisiberica.com	7
Figura 2 Barreno de incremento de pressler Fuente: www.gafmex.com	7
Figura 3 Resistógrafo Rinntech 4252-s Fuente: Secretaría de ambiente 2018	8
Figura 4 empuñadura de la broca del resistógrafo Fuente: www.rinntech.com	8
Figura 5 Dimensiones de la broca de acero del Resistógrafo. Fuente: Acuña, 2007	8
Figura 6 Resistograma de madera de Pinus pinaster y recorrido de la broca en la sección diametral. Fuente: Acuña, 20017)	10
Figura 7 Perfil de resistografía mostrando la influencia de la fricción en el gráfico de amplitud creciente. Fuente: Nutto, 2015.	11
Figura 8 Diagrama de decisión y procedimiento para resistografía	13
Figura 9 Componentes del resistograph 4452S- Rinntech Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente, 2018.....	14
Figura 10 Ejemplo de posicionamiento del equipo en relación con el tronco del árbol y el operador.....	15
Figura 11 Importación de los perfiles de la PowerPack mediante el Software DECOM	17
Figura 12 Selección de los perfiles a importar mediante el software DECOM	17
Figura 13 Gestión y visualización de los perfiles en el software DECOM.....	18
Figura 14 Como guardar perfiles y tipos de archivo en el software DECOM.....	19
Figura 15 Como exportar perfiles y tipos de archivo en el software DECOM.....	19
Figura 16 Editar perfiles a partir del software DECOM	20
Figura 17 Clasificar y asignar etiquetas (tipos de tejido) al perfil mediante el software DECOM .	20
Figura 18 Editar información básica del proyecto, localización y observaciones al perfil	21
Figura 19 Establecer líneas, límites o marcas en el perfil	21
Figura 20 Opciones estadísticas, promedio de resistencia del perfil.....	22
Figura 21 Perfil de resistografía en árbol de Falso pimiento (Shinus molle)	23
Figura 22 Tomografía 2D individuo de Acacia melanoxylon indicando la posición de la prueba de resistografía.	24
Figura 23 Perfil resistográfico del individuo Acacia melanoxylon	24
Figura 24 Tomografía 2D individuo de Cupressus lusitánica indicando la posición de la prueba de resistografía	26
Figura 25 Perfil resistográfico del individuo de Cupressus lusitánica	26
Figura 26 Tomografía 2D individuo de Eucalyptus globulus indicando la posición de la prueba de resistografía	28
Figura 27 Perfil resistográfico del individuo de Eucalyptus globulus	28
Figura 28 Tomografía 2D individuo de Pinus patula indicando la posición de la prueba de resistografía	30
Figura 29 Perfil resistográfico del individuo de Pinus patula	30
Figura 30 Tomografía 2D individuo de Fraxinus chinensis indicando la posición de la prueba de resistografía	31
Figura 31 Perfil resistográfico del individuo de Fraxinus chinensis.....	31
Figura 32 Diagramas de correlación entre la velocidad de propagación de onda (m/s) y la amplitud de resistencia (%) para los géneros (a) Acacia b) Cupressus c) Eucalyptus d) Pinus e) Fraxinus.....	33
Figura 33. Ficha técnica de registro de evaluación técnica del arbolado con Tomógrafo	36

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Ficha técnica 1 datos de evaluación de tomografía.....	24
Tabla 2. Ficha técnica 2 datos de evaluación de tomografía.....	26
Tabla 3. Ficha técnica 3 datos de evaluación de tomografía.....	27
Tabla 4. Ficha técnica 4 datos de evaluación de tomografía.....	29
Tabla 5. Ficha técnica 2 datos de evaluación de tomografía.....	31
Tabla 6. Recomendaciones de manejo silvicultural según los resultados de evaluación con resistografía	34

1. PRESENTACIÓN

La Secretaría Distrital de Ambiente es la entidad encargada de orientar y liderar la formulación de las políticas ambientales y de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el suelo a nivel del Distrito Capital de la ciudad de Bogotá. A través de la Subdirección de Silvicultura Flora y Fauna silvestre, la Entidad direcciona las acciones en materia de prevención y control del deterioro ambiental relacionados con los recursos flora, fauna y silvicultura, para este último, la Subdirección tiene dentro de sus funciones adelantar procesos de investigación sobre temas relacionados con el manejo del arbolado urbano, para lo cual se planteó en las metas de investigación del Plan de Desarrollo “Bogotá Mejor para Todos (2016-2020), generar ocho instrumentos técnicos, científicos y de prevención para el mantenimiento en la gestión del arbolado urbano que propendan por su protección y prestación de los servicios ambientales inherentes.

Por lo anteriormente mencionado, el presente modelo técnico, pretende dar alcance y cumplimiento a la formulación de instrumentos que permitan mejorar la gestión del arbolado urbano de la ciudad, la cual se ha venido fortaleciendo desde el año 2010, con la adquisición de equipos de evaluación especializados: dos (2) tomógrafos acústicos y un (1) resistógrafo. La formulación de esta herramienta, mediante la cual se indica el procedimiento para el uso del resistógrafo, análisis de información, interpretación de resultados y recomendaciones de manejo, pretende contribuir con la toma de decisiones en materia de evaluación silvicultural de la cobertura arbórea de la ciudad.

2. ANTECEDENTES

La evaluación visual del arbolado ha sido la herramienta más utilizada para evaluación y determinación del estado físico y sanitario de los árboles. Estos métodos se basan en la identificación de síntomas exteriores de los árboles debido a posibles anomalías internas de su madera (Matheny y Clark 1994; Mattheck y Breloer, 1994).

Con el objetivo de tornar más objetiva, la evaluación y determinación de los defectos estructurales internos de los árboles recientemente han surgido numerosas técnicas de diagnóstico, rápidas y precisas (Wang et al. 2008).

Las técnicas no destructivas, son métodos de evaluación basados en principios acústicos, que incluyen detectores sónicos (Picus, Fakopp, Arbotom), rayos X, conductividad eléctrica, taladros portátiles (barreno de pressler) y métodos mecánicos penetrómetros (Pilodyn y Resistógrafo) entre otros (Calaza e Iglesias, 2016; Nicolotti y Miglietta, 1998). La evaluación no destructiva (NDE), por sus siglas en inglés, es la ciencia que permite identificar las propiedades físicas y mecánicas de una pieza de material sin alterar su capacidad de uso final y luego usar esta información para tomar decisiones con respecto a las aplicaciones apropiadas (Pellerin y Ross, 2002).

Uno de los primeros equipos desarrollado como técnica no destructiva fue el resistógrafo, creado en 1985 en Alemania para evaluación en postes de madera y para análisis en condiciones de campo en árboles en pie y en estructuras de madera (Rinn et al 1996, Gantz, 2002). El resistógrafo ha sido ampliamente utilizado para la determinación y predicción de descomposición incipiente en el interior del tronco de árboles, pues se correlaciona con las propiedades mecánicas de la madera (Bethge et al. 1996; Rinn et al. 1996; Costello y Quarles, 1999; Wang y Allison 2008). También ha sido empleado para evaluar la variación de densidad en anillos de crecimiento (Rinn 1996; Guller, 2012), en programas de mejoramiento genético de plantaciones forestales (Isis y Li, 2003), para estimación y predicción de la densidad de la madera en árboles en pie en clones de *Eucalyptus* (Lima et al 2007) Blanco et al. 2012; evaluó en árboles en pie de *Tectona grandis* y determinó la correlación con la densidad de la madera. De la misma forma Silva et al. 2017 empleó resistógrafo para estimar la densidad de la madera en árboles de *Cedrela fisilis*; Barria, Sandoval y Rojas, 2017 en árboles de *Pinus radiata* para estimar su densidad.

Estos resultados de manera general expresan correlaciones entre 54 y 85% entre la amplitud de resistencia a la perforación y la densidad básica, lo cual demuestra el potencial de este equipo para la estimación de la densidad de la madera del tronco en árboles en pie. También es ampliamente utilizado para la detección de defectos en madera estructural (Acuña et al. 2007) y análisis del estado de conservación en estructuras históricas (Abreu et al. 2013).

3. EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA DE ÁRBOLES MEDIANTE MÉTODOS MECÁNICOS

El comportamiento mecánico de determinado material se basa en la comprensión de su resistencia, es decir la respuesta del material a la aplicación de fuerzas externas que tienden a deformarlo (Hibbeler, 2003). Bajo este principio, los métodos de resistencia a la perforación se emplean para evaluar el estado interno del tronco de árboles mediante la medida de la resistencia que opone la madera a la perforación de una broca con velocidad y avance constante, la cual dependerá de las variaciones de densidad y dureza de la madera (Rinn et al. 1996).

En este grupo pueden incluirse métodos como el penetrómetro (Figura 1), perforación con taladros, arranque de tornillos, barreno de incremento de pressler (Figura 2). Este último fue la única herramienta para evaluar la descomposición de la madera durante muchos años, sin embargo, recientemente se han desarrollado muchas tecnologías nuevas, más precisas como el resistógrafo (Calaza e Iglesias 2016).



Figura 1 *Penetrómetro (pilodyn)* Fuente: www.gisiberica.com



Figura 2 *Barreno de incremento de pressler* Fuente: www.gafmex.com

3.1 Resistógrafo

Los resistógrafos funcionan con el principio de microperforación (microdrilling) (Figura 3 y 4). Esta técnica de funcionamiento es similar a la de los taladros, pero con la ventaja de grabar la resistencia a la perforación (Rinn et al 1996). Este método no destructivo de resistencia mínimamente invasivo es empleado para evaluar los defectos del tronco ocultos a la vista (Nicolotti y Miglietta, 1998; Costello-Quarles, 1999).



Figura 3 Resistógrafo Rinntech 4252-s
Fuente: Secretaría de ambiente 2018



Figura 4 empuñadura de la broca del resistógrafo
Fuente: www.rinntech.com

3.1.1 Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento del resistógrafo es simple, una broca de acero de 3mm de diámetro (Figura 5) es direccionada al interior de la madera a una velocidad predeterminada, dependiendo de la especie (Rinn et al. 1996). La broca del equipo mide la resistencia a la perforación cuando gira penetrando la madera a una velocidad de 400 – 1500 r.p.m.

Al atravesar la madera la broca encuentra diferentes intensidades de resistencia, lo que refleja la condición estructural de las paredes celulares, variaciones entre anillos de crecimiento, defectos, entre otros. Esta variación de la resistencia resulta en aumento o disminución de la intensidad de torque aplicado, lo cual por medio de sensores mecánicos y electrónicos se reflejan en el consumo de energía necesaria para vencer la resistencia a la perforación de la madera en relación con un valor de referencia del equipo, esta medición denominada amplitud de resistencia se expresa en valor absoluto o porcentaje (Rinn et al. 1996).

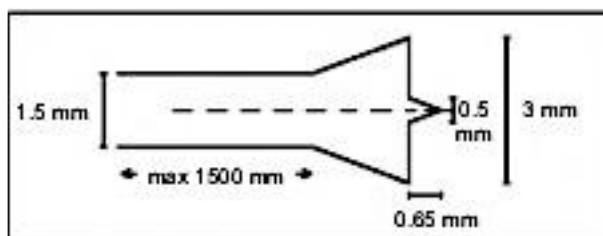


Figura 5 Dimensiones de la broca de acero del Resistógrafo. Fuente: Acuña, 2007

3.1.2 Datos obtenidos-perfil resistográfico

El equipo registra el perfil diametral o resistograma de variación de la densidad, el cual representa las zonas degradadas de una sección de madera, a partir de una relación entre la longitud de la pieza y la resistencia que esta ofrece a la perforación. El resistograma representa gráficamente la energía que el motor eléctrico que hace girar la broca consume para lograr la penetración de la aguja a velocidad constante. Por consiguiente, atendiendo a la constitución interna de la madera, se podrán definir una serie de variables que relacionen las características propias del material con la energía consumida en cada momento (Acuña, 2011).

3.1.3 Interpretación de resultados

Las lecturas de resistencia alta sugieren la presencia de madera sana, mientras que las lecturas bajas pueden indicar defectos o descomposición interna (Matteck, et al. 1997). Para obtener resultados cuantitativos es posible asociar los resultados de la resistografía para determinar la relación con la densidad de la madera. La densidad relaciona la masa o peso de la madera por unidad de volumen y varía entre diferentes especies, dentro del mismo árbol y en las diferentes regiones del tronco y es una de las propiedades más utilizada, pues se relaciona con las propiedades físicas, mecánicas y de composición celular de la madera (Panshin e De Zeeuw 1970). Por lo tanto, el resistógrafo es una herramienta que permite estimar la densidad de la madera, detectar pudriciones, conocer la extensión del deterioro y determinar la reducción de dureza, lo cual también depende de la humedad (Lin et al. 2003).

En la figura 6, por ejemplo, se observa un resistograma de prueba a un bloque de madera de *Pinus pinaster* (Acuña, 2007) en el cual se observan las variaciones de densidad correspondientes a las camadas de crecimiento (madera inicial, menor densidad) que se forma al inicio de la primavera y madera tardía (mayor densidad, formada en el verano), las cuales son características de las especies de madera de zonas templadas en las que se distinguen anillos de crecimiento bien definidos como el caso de *Pinus* (Ifju, 1969). Estas variaciones de densidad de la madera se observan en el perfil como picos y valles de amplitud de resistencia.

En el caso de la cavidad, señalada con flecha color rojo en la figura 6, se entiende que la presencia de un hueco implica que no existe ninguna resistencia a la perforación, por lo tanto, el resultado de la variación de amplitud en el perfil es de Cero. El perfil resistográfico por lo tanto permite evaluar el estado de integridad del tronco con base en la resistencia a la perforación que ofrece la madera sana la cual es superior a la que presenta la madera degradada, y (Acuña, 2007)

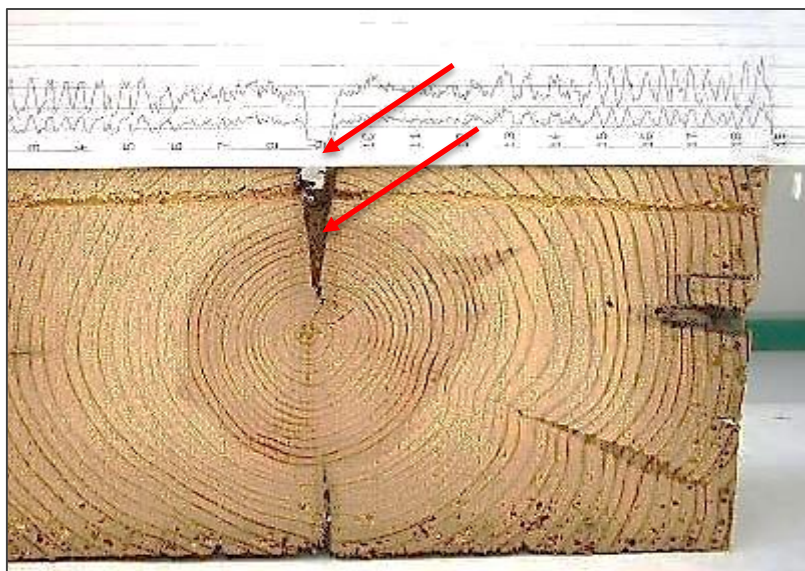


Figura 6 Resistograma de madera de *Pinus pinaster* y recorrido de la broca en la sección diametral.
Fuente: Acuña, 20017)

3.1.4 Ventajas y limitaciones

El resistógrafo presenta algunas ventajas sobre otros tipos de equipos estimadores de densidad en árboles en pie:

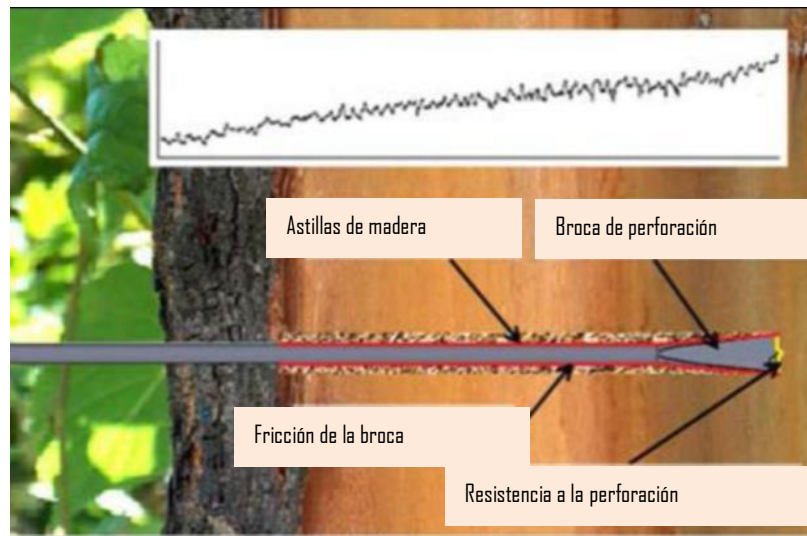
- a) Los resultados no varían en caso de que las mediciones sean realizadas por diferentes operadores
- b) No es necesario retirar la corteza
- c) Es un equipo portátil y de fácil operación
- d) Permite detectar variaciones entre duramen, albura y otros tipos de variaciones naturales de la composición de la madera.

En contrapartida, también presenta algunas desventajas como:

- a) Permite hacer mediciones en el tronco de carácter puntual, mientras que el tomógrafo permite inferir el estado de una sección transversal.
- b) La influencia de vientos fuertes puede generar efecto en las tensiones de crecimiento en el tronco y afectar la medición,
- c) Puede ocasionar problemas mecánicos y agentes biológicos al árbol, cuando se utiliza con mucha frecuencia en el mismo lugar de medición (Lima et al. 2006).

El uso del resistógrafo en especies muy densas superiores a 600 kg/m^3 (Tannert et al 2013) puede alterar el resultado del perfil, como se observa en la figura 7, donde se aprecia en el gráfico una amplitud de resistencia a la perforación de tipo creciente, lo cual no necesariamente corresponde al aumento de la resistencia a la perforación de la madera, reflejada por la potencia necesaria para llevar a cabo la perforación de la misma, sino a un aumento de la fricción producida durante la penetración de la aguja en el tronco (Nutto, 2015). En este sentido es importante que se realice una evaluación adecuada del

perfil para evitar interpretaciones erróneas.



*Figura 7 Perfil de resistografía mostrando la influencia de la fricción en el gráfico de amplitud creciente.
Fuente: Nutto, 2015.*

3.1.5 Importancia y utilidad de uso del resistógrafo en árboles urbanos

Este método no destructivo de resistencia mínimamente invasivo ha sido empleado para evaluar los defectos del tronco ocultos a la vista y la detección de posibles fallas internas del árbol en función de la variación de la resistencia a la perforación, (Nicolotti y Miglietta, 1998; Costello-Quarles, 1999). El resistógrafo es una herramienta útil para la toma de decisiones por parte del profesional forestal, siendo un método eficaz, mínimamente invasivo que de manera inmediata realiza un diagnóstico del estado interno del tronco detectando defectos ocultos a simple vista.

3.1.6 Tipos de equipos

En el mercado existen varias marcas comerciales de equipos que operan bajo el principio de microperforación como IML y Rinntech. Sin embargo, la Secretaría Distrital de Ambiente adquirió los equipos de la marca Rinntech, debido a la facilidad de manejo y utilización del equipo, la amplia experiencia de sus desarrolladores (Frank Rinn, 1986) a partir de miles de evaluaciones, hacen del software DECOM un programa de fácil utilización y análisis de la información obtenida, así como el soporte técnico permanente.

4. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN SILVICULTURAL CON RESISTOGRAFÍA

A continuación, se presenta el procedimiento para realizar una evaluación silvicultural a partir del empleo del resistógrafo.

4.1 Cuándo es necesario realizar una evaluación con resistógrafo?

La evaluación con equipos de evaluación especializados debe realizarse para identificar y cuantificar un defecto previamente identificado, por lo tanto, una vez el profesional técnico designado para realizar la evaluación visual del árbol, efectúa la visita e identifica condiciones sanitarias externas que pueden generar indicios de posibles fallas internas en el fuste del árbol, se determinará la necesidad de implementar las pruebas de tomografía y resistografía.

4.1.1 Inicialmente se debe realizar la prueba de tomografía y en el caso que se detecten indicios de una posible pudrición, se hace necesario complementar la evaluación con el uso del resistógrafo, esto con el fin de determinar la extensión de la afectación en dirección radial al centro del tronco, en la posición del sensor o los sensores en el cual se observó en la tomografía la posible pudrición. La prueba debe realizarse en la misma altura de la sección transversal en la que fue realizada la tomografía.

4.1.2 Si el resultado de la tomografía fue satisfactorio y el árbol se encuentra en buen estado, no será necesario realizar la prueba del resistógrafo, en este caso se hará el informe correspondiente a la tomografía.

4.1.3 La prueba de resistografía debe hacerse preferiblemente junto a la evaluación tomográfica, pues el resistógrafo genera una medición puntual, por lo tanto, es necesario que se complemente con otro método de evaluación como el caso de la tomografía de impulso, la cual ofrece un resultado de toda la sección transversal, sin embargo debe realizarse ÚNICAMENTE la resistografía en los siguientes casos:

- *Caso Palmas* o género *Ochroma*: Como se indicó en el Modelo Técnico para evaluación y análisis con tomografía de impulso para el arbolado urbano del Distrito Capital, NO es recomendable realizar tomografías en Palmas o árboles de especies de muy baja densidad (género *Ochroma*, densidad=300kg/m³), debido a que la conformación microscópica de los tejidos de tipo hueco y el alto contenido de humedad, influye en la transmisión de la onda, en este caso la tomografía puede indicar posibles afectaciones internas debido a la baja velocidad de onda sin embargo, el individuo puede encontrarse en buen estado, para este caso ÚNICAMENTE se realizará la resistografía, para lo cual, se recomienda efectuar varias mediciones en diferentes puntos de la sección transversal, con el fin de compararlos y obtener más información sobre el estado interno del tronco.
- Otros casos: Cuando existen limitaciones para realizar la tomografía, por ejemplo, el árbol presente difícil acceso o se encuentra en zona de pendiente y no sea posible la instalación de los sensores, también casos en que sea un árbol de gran

porte y los sensores sean insuficientes para realizar la prueba, en este caso se deberá efectuar **UNICAMENTE** la prueba de resistografía, en dicho caso, se recomienda efectuar varias mediciones en diferentes puntos de la sección transversal, con el fin de compararlos y tener más información sobre el estado interno del tronco. Para los últimos dos casos el profesional forestal determinará la altura nivel del suelo en la que se realizará la prueba resistográfica, de acuerdo con las condiciones sanitarias donde se requiera identificar posibles afectaciones internas del tronco.

4.2 Diagrama de decisión para utilización y operación del equipo

A continuación, Se relaciona un diagrama de decisión para el adecuado uso de la resistografía y se presenta el procedimiento de operación, el cual es específico para la obtención y análisis de datos con el software DECOM de la marca Rinntech.

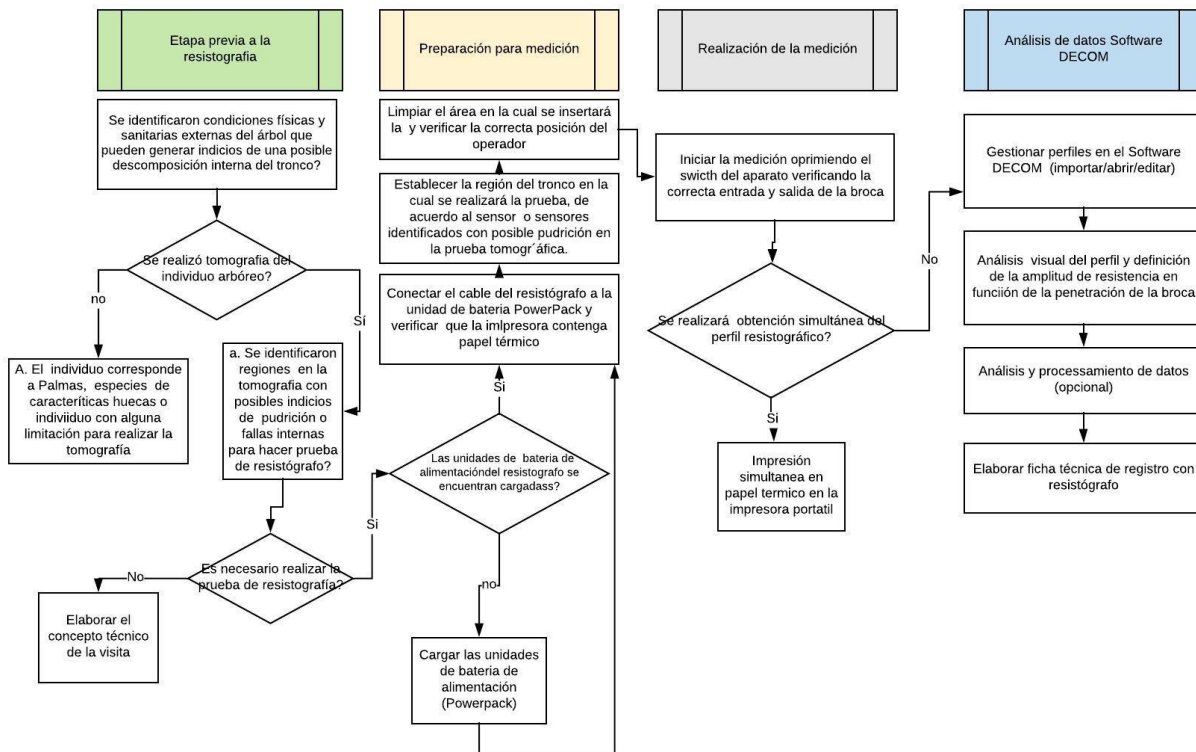


Figura 8 Diagrama de decisión y procedimiento para resistografía

4.3 Componentes del resistógrafo

El resistógrafo Rinntech contiene los siguientes componentes (Figura 9):

- Perforadora (peso 4 kg) con broca de acero 44 cm de longitud
- PowerPack con batería recargable 24 volts (7.5 kg), memoria de almacenamiento e impresora de datos, con papel térmico
- Maleta acolchada para transporte
- Software DECOM para evaluación e impresión



Figura 9 *Componentes del resistograph 4452S- Rinntech Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente, 2018*

4.4 Protocolo para uso, operación del resistógrafo Rinntech y obtención de datos con el software DECOM

4.4.1 Operación del equipo

La operación del equipo en campo únicamente requiere la batería del equipo cargada y la impresora portátil con papel térmico para observar el perfil de manera simultánea. En la medida que va avanzando la penetración, el registro de datos se realiza de forma instantánea mediante dos opciones: De forma gráfica mediante impresión en papel térmico a escala 1:1 con resolución de 0,01 mm. De forma numérica el equipo almacena 10000 datos por cada centímetro de penetración de la broca, los cuales es posible exportar al computador que contenga el software DECOM.

El resistógrafo Rinntech no permite realizar perforaciones en diferentes ángulos, la perforación debe hacerse perpendicular a las fibras de la madera. El operador debe posicionarse siempre con auxilio de un apoyo, con el fin de no romper la broca del equipo (Figura 10).



Figura 10 Ejemplo de posicionamiento del equipo en relación con el tronco del árbol y el operador

La operación del resistógrafo se basa en los siguientes pasos:

PASO 1. VERIFICAR LA POSICIÓN DE LA SECCIÓN RADIAL EN LA CUAL SE REALIZARÁ LA MEDICIÓN.

Establecer previamente la localización de la posible pudrición en la cual se hará la prueba del resistógrafo. En este punto se realizará limpieza del área, como retiro de musgos, corteza en exceso, lianas etc, con el fin de posicionar la empuñadura de la broca e iniciar la medición.

PASO 2. CONECTAR EL EQUIPO A LA BATERIA POWERPACK

Se deberá verificar que la batería se encuentra cargada y realizar la conexión del cable a la unidad de alimentación del equipo y posicionar el resistógrafo adecuadamente al tronco del árbol, es decir, de manera perpendicular al tronco del árbol, en la posición en la cual se determinó realizar la medición.

PASO 3. ACTIVAR EL SWITCH DEL EQUIPO PARA INICIAR LA MEDICIÓN

En este punto, se debe oprimir el dispositivo ubicado bajo el cabo del resistógrafo para iniciar la perforación. En la parte posterior del resistógrafo se observa una escala en centímetros y una luz indicará la posición en que avanza la medición. Posterior al ingreso de toda la extensión de la broca, automáticamente esta regresará a su posición inicial y solo hasta ese momento el operador podrá retirar el equipo. Al mismo tiempo la impresora realizará la captura e impresión simultanea del perfil registrado.

4.4.2 Operación del Software DECOM

- **Obtener perfiles**

Página inicial del DECOM: La página inicial contiene la ventana del gráfico, la lista de perfiles, la barra de iconos y la barra de menú. Para realizar la transferencia de los perfiles desde el resistógrafo por medio de un cable USB serial. La memoria integrada del equipo de la PowerPack puede almacenar hasta 400 archivos correspondientes a perfiles. Es necesario conectar la unidad, abrir el menú archivo y seleccionar el modelo de resistógrafo a utilizar. Es posible seleccionar uno, varios o transferir todos los perfiles almacenados. En el menú opciones *file* se debe seleccionar la referencia del resistógrafo con el cual se realizó la medición. (Figura11).

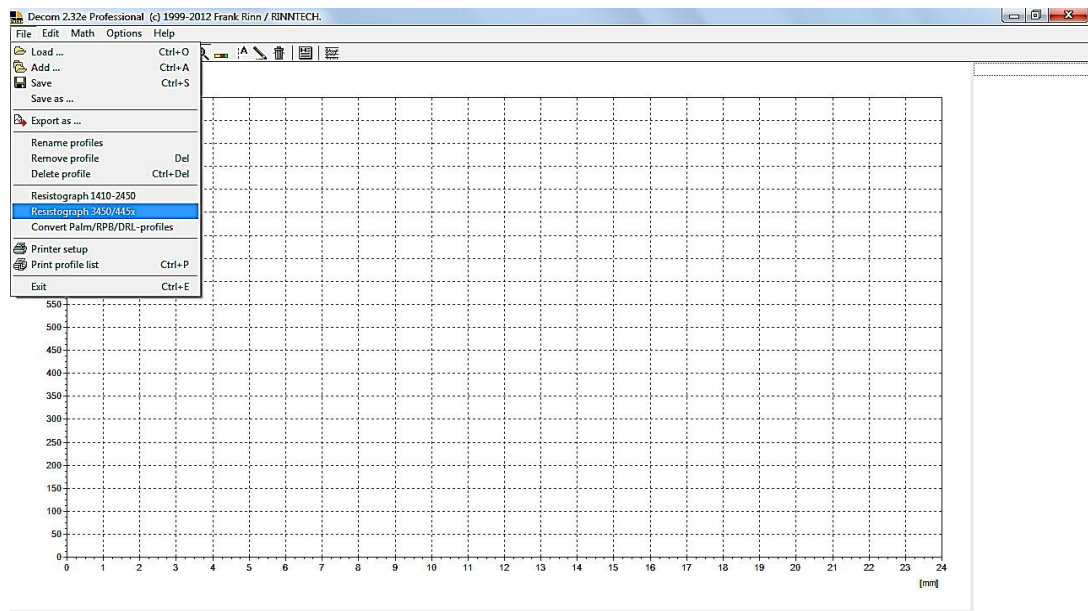


Figura 11 Importación de los perfiles de la PowerPack mediante el Software DECROM

Posteriormente en la ventana emergente del resistógrafo seleccionado, en la opción *check to profiles*, es posible transferir todos los perfiles (*select all*) o seleccionar algunos perfiles (*transfer selected profiles*) con la tecla Ctrl, los cuales se pueden enviarse a la carpeta seleccionada en el computador. Es importante seleccionar en este proceso, el tipo de formato en *Output format type* en DPA, el cual es el formato estándar (Rinntech, 2006), que contiene toda la información del perfil (Figura 12).

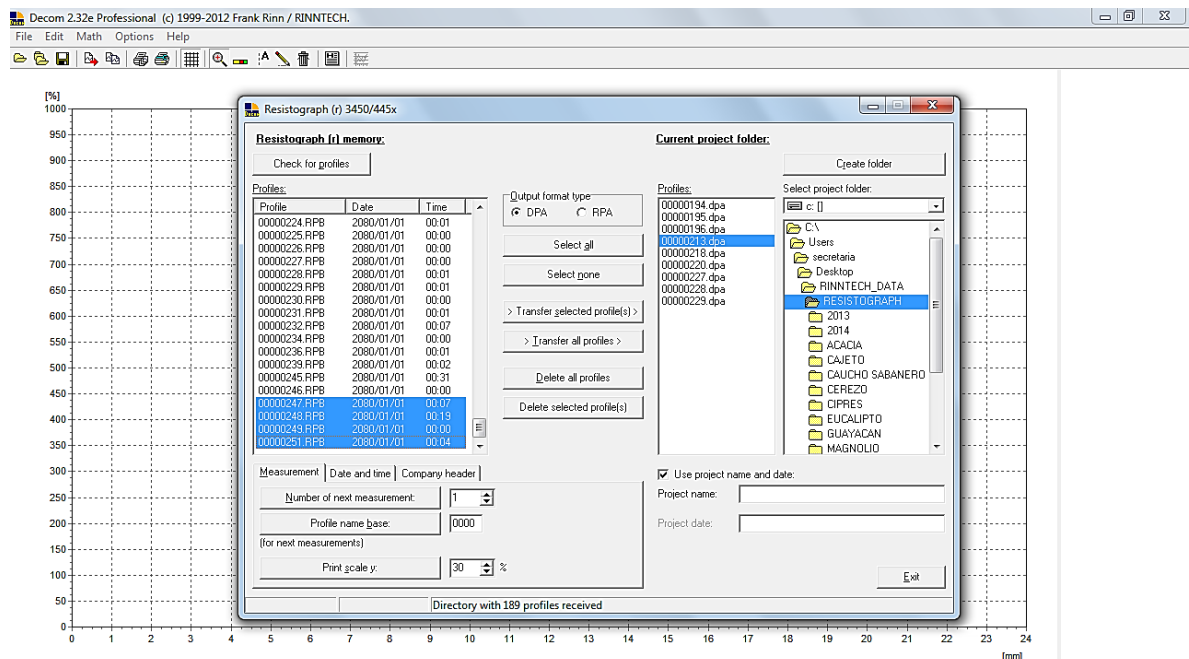


Figura 12 Selección de los perfiles a importar mediante el software DECROM

- **Abrir perfiles**

En el menú archivo, seleccionar *load* para abrir un perfil en una ubicación específica, por ejemplo, una carpeta de archivos de perfiles. (Figura 13).

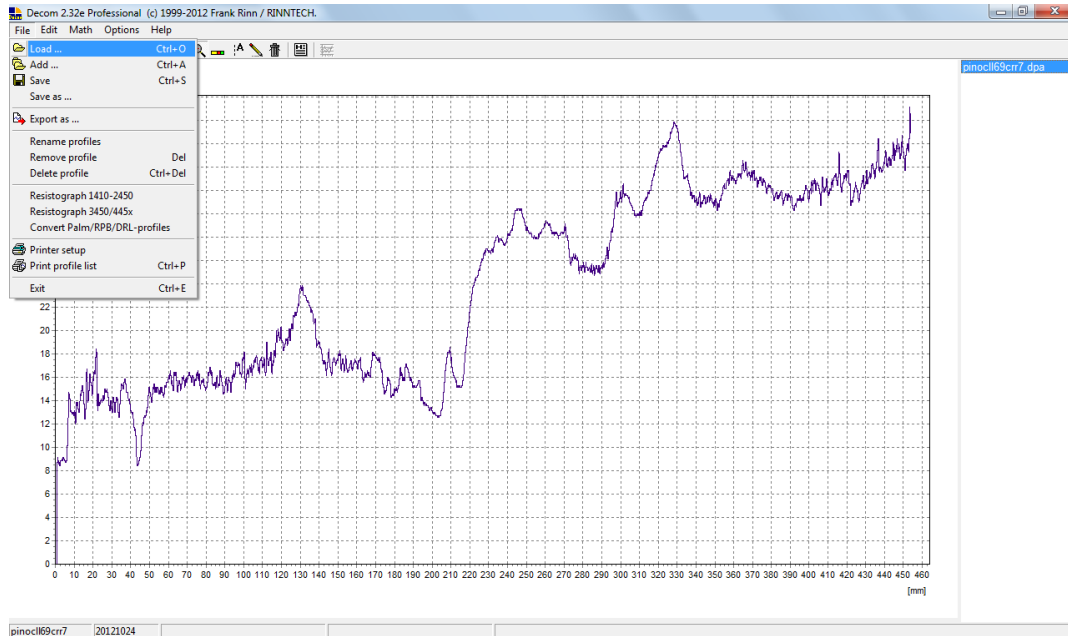


Figura 13 *Gestión y visualización de los perfiles en el software DECOM*

- **Guardar perfiles**

Para guardar los perfiles en una carpeta específica, se debe seleccionar *save us* y en la parte inferior el tipo de archivo (DPA) (Figura 14). Es posible exportar el perfil como imagen en la opción *export us* seleccionando el formato de archivo (*jpg* o *bmp*) (Figura 15). Se recomienda en *options* que la escala del eje Y del gráfico corresponda con la amplitud de resistencia en valor porcentual (%), esto con el fin de hacer comparaciones en virtud del porcentaje sobre el valor de referencia para cada medición.

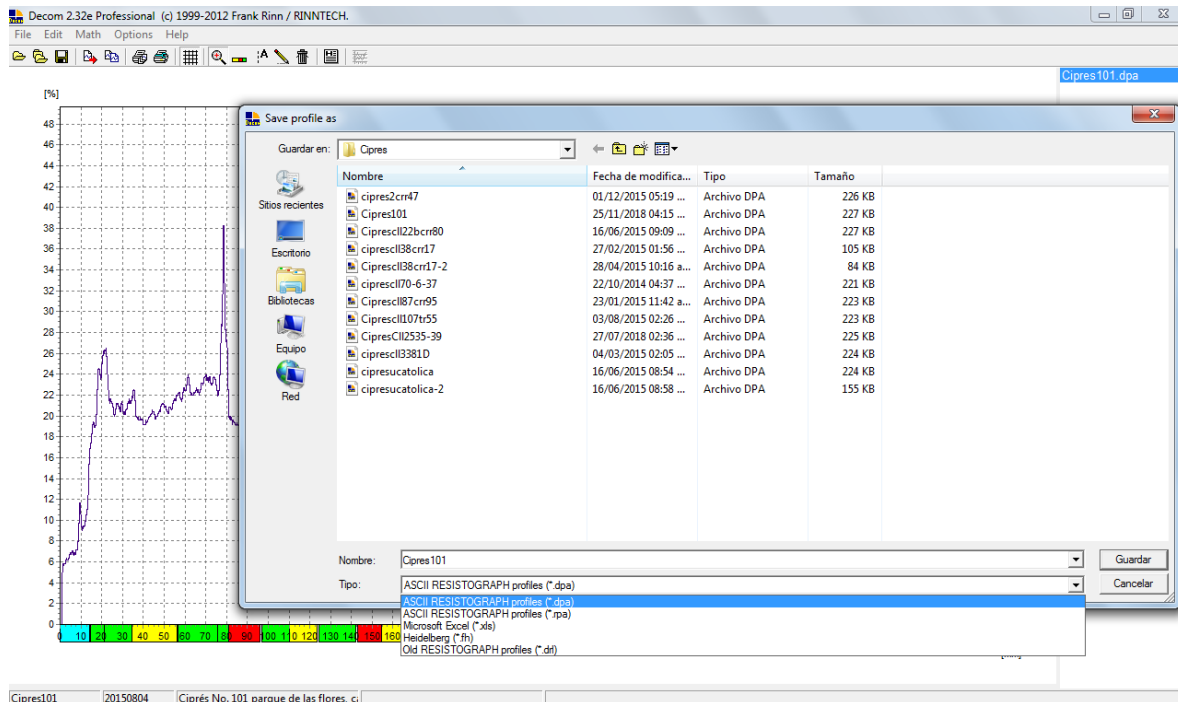


Figura 14 Como guardar perfiles y tipos de archivo en el software DECOM

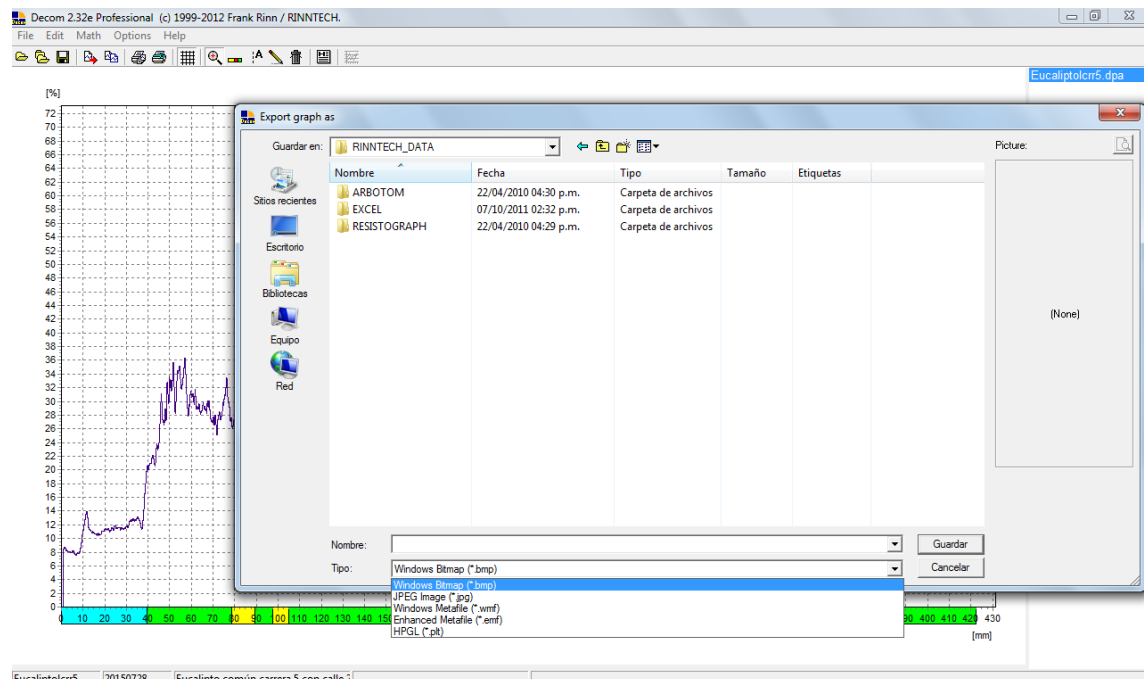


Figura 15 Como exportar perfiles y tipos de archivo en el software DECOM

- **Gestionar perfiles**

Para establecer y clasificar los tipos de tejido se debe seleccionar *condition mark* en la cual aparecerá la opción de seleccionar el tramo correspondiente a la profundidad y su caracterización de acuerdos con las variaciones de resistencia y el valor se asigna manualmente por parte del profesional forestal (Figura 16 y 17).

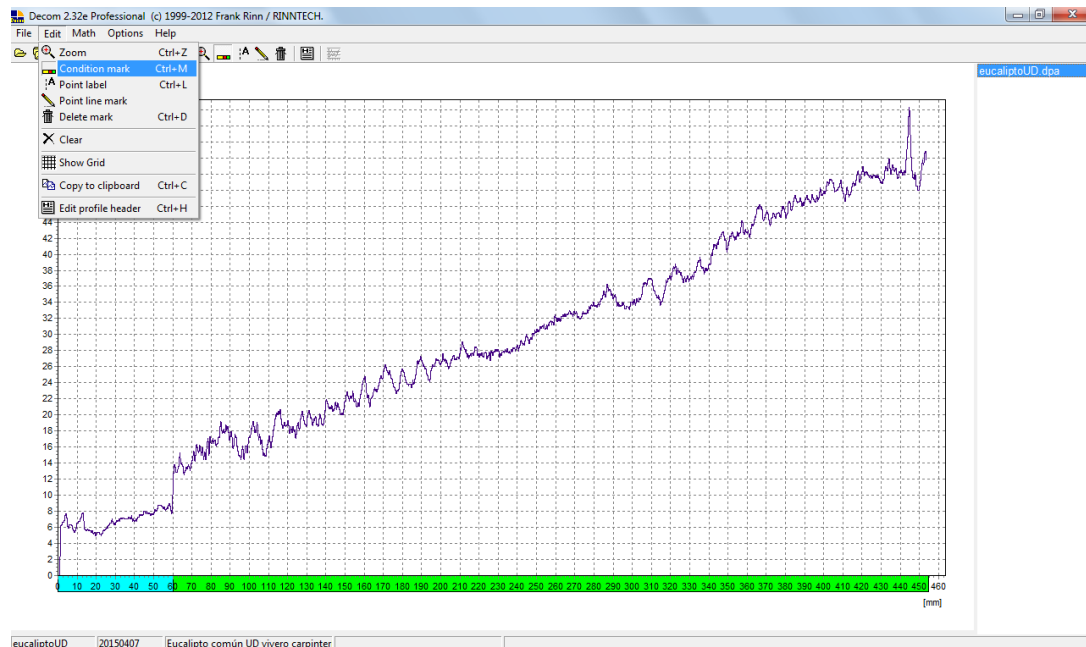


Figura 16 **Editar perfiles a partir del software DECOM**

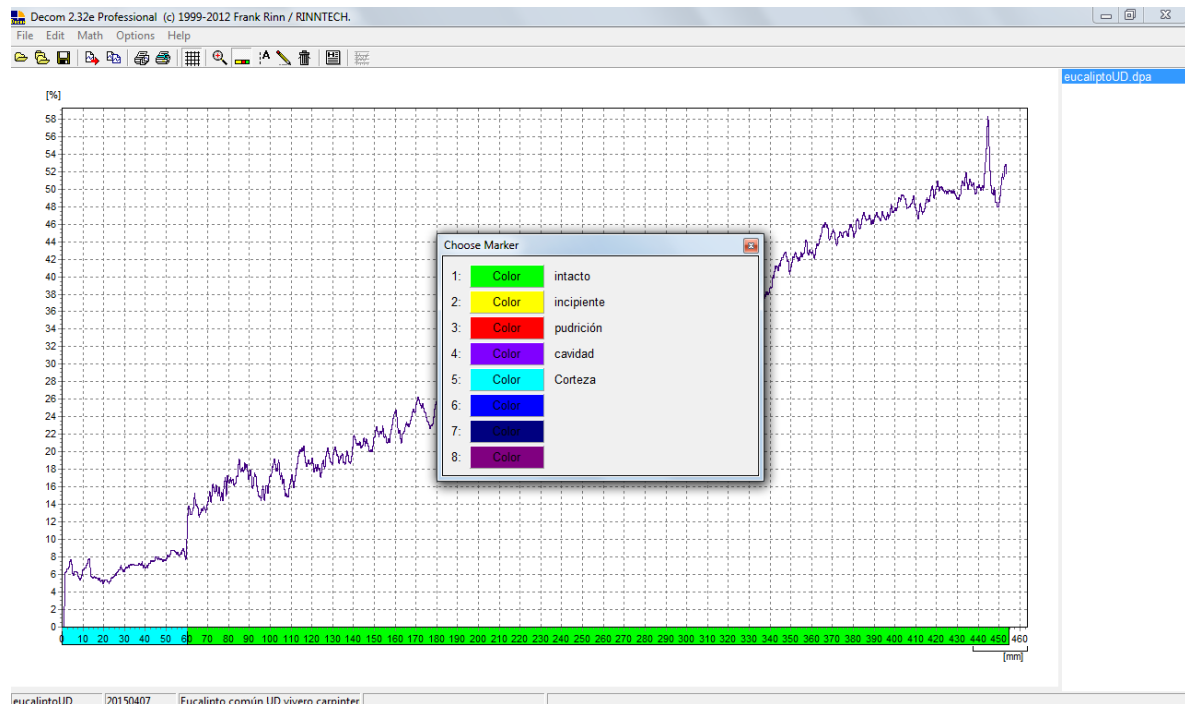


Figura 17 **Clasificar y asignar etiquetas (tipos de tejido) al perfil mediante el software DECOM**

Para alterar la descripción del proyecto, localización o colocar información y observaciones es posible realizarlo en la opción *Edit Profile header* (Figura 18).

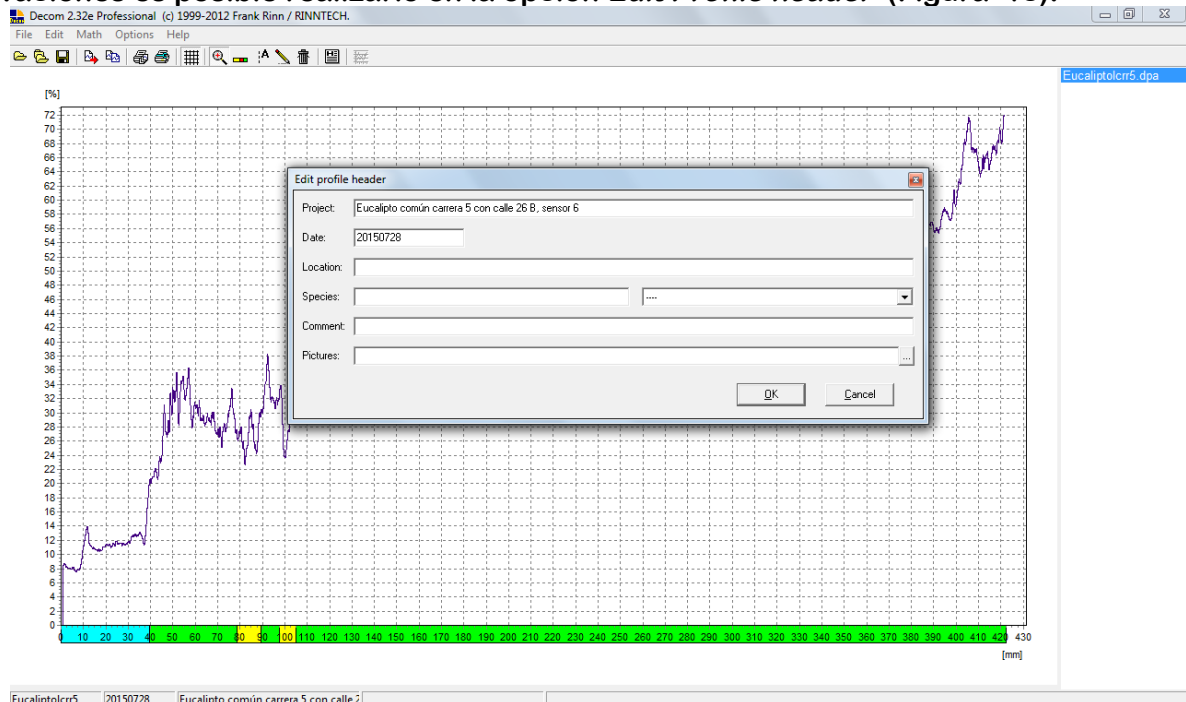


Figura 18 *Editar información básica del proyecto, localización y observaciones al perfil*

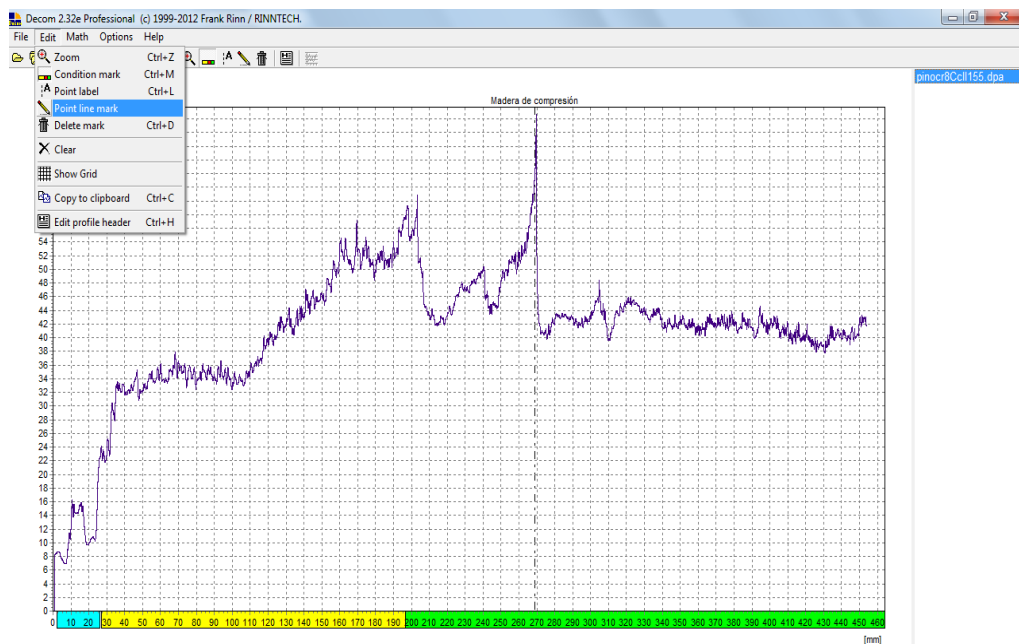


Figura 19 *Establecer líneas, límites o marcas en el perfil*

Con el fin de delimitar o marcar un área que se requiera resaltar en el perfil, es posible realizarlo en la opción *edit point label* o *point line mark*. Se puede destacar un punto de

transición, o de cambio, en este caso en 270 cm existe un área que posiblemente corresponde a un punto de densificación de madera o madera de compresión (Figura 19).

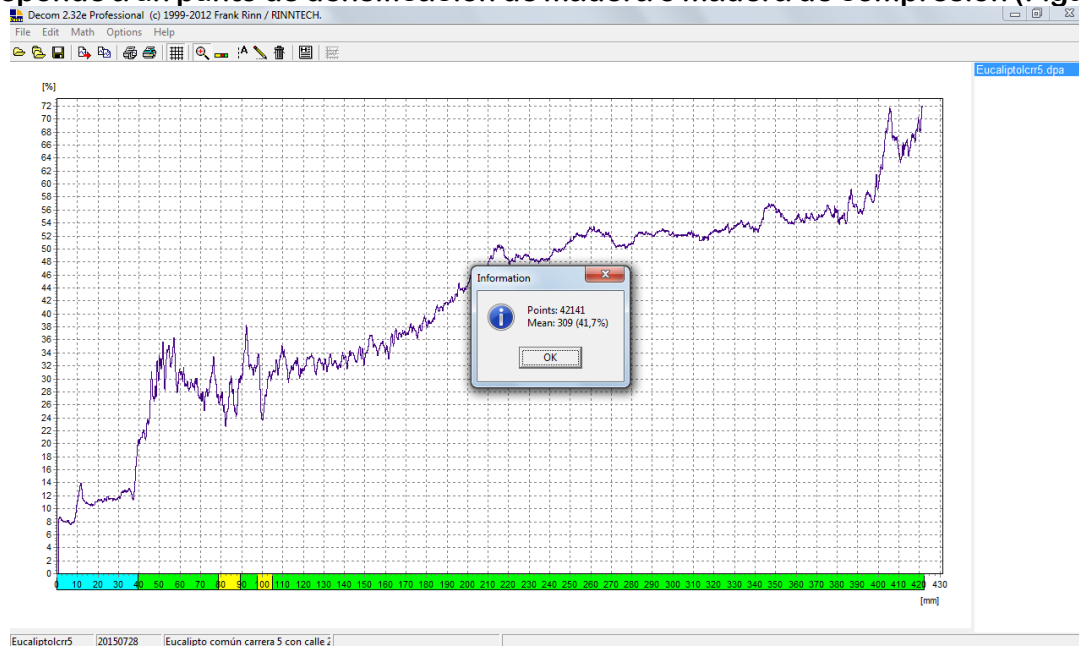


Figura 20 Opciones estadísticas, promedio de resistencia del perfil

En la figura 20, es posible observar los resultados estadísticos en el recuadro *information* correspondiente al promedio de resistencia *Mean* (309), valor neto y 41.7% amplitud de resistencia en porcentaje, datos que proporciona el programa, en la opción *math calc estatistics*, con la cual es posible determinar el valor promedio e amplitud de resistencia a la perforación de todo el perfil.

4.5 Análisis del perfil resistográfico e interpretación de resultados

El grafico del perfil resistográfico muestra en el eje *x*, la profundidad de penetración de la broca en milímetros (mm) y en el eje *y* el valor porcentual de amplitud de resistencia a la perforación (%). El análisis del perfil permite visualizar las variaciones de resistencia a lo largo de la sección radial analizada. Las lecturas de resistencia alta sugieren la presencia de madera sana, mientras que las lecturas bajas pueden indicar defectos o descomposición interna (Matteck, et al. 1997).

Por ejemplo, en la figura 21, se observa un perfil de individuo de Pino, en el cual del cm 0 al cm 4 se delimita la región inicial de la corteza caracterizada por presentar una densidad menor a la de la madera (Evert, 2013), esta región corresponde al 9% del perfil analizado. En el tramo posterior se observó presencia de tejido intacto, de acuerdo con el aumento de la resistencia a la perforación, en función de la profundidad de 46 cm en dirección radial al centro del tronco. En este perfil es posible determinar que un 91% de la sección analizada posee tejido de tipo intacto considerando que la resistencia varía entre un 18 a 28%.

Estos valores porcentuales de tipo de tejido son asignados por el profesional mediante la gestión de perfiles (*Condition mark*) y aparecerán en el perfil cuando este sea exportado en formato de imagen.

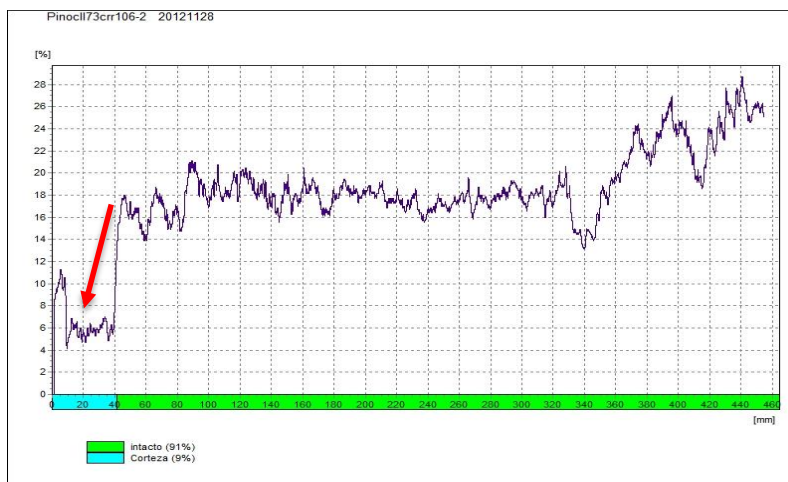


Figura 21 *Perfil de resistografía en árbol de Falso pimiento (Shinus molle)*

5. ANALISIS DE DATOS DEL PERFIL RESISTOGRÁFICO E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se relacionan algunos ejemplos de evaluación con tomografía y su correspondiente prueba resistográfica realizados por la Secretaría Distrital de Ambiente desde el año 2013 al año 2018, junto con el análisis e interpretación de resultados de perfiles resistográficos obtenidos a partir del software DECOM. De las 273 evaluaciones con resistografía, realizadas por la entidad al año 2018, se obtuvieron 37 individuos que presentaron evaluación con tomografía y resistografía, de acuerdo con los datos disponibles. Se seleccionó aleatoriamente un caso por especie de Acacia (*Acacia* spp) Ciprés (*Cupressus lusitánica*), Eucalipto común (*Eucalyptus globulus*), y Pino (*Pinus patula*) y Urapán (*Fraxinus chinensis*) proporcionando ejemplos de perfil de árbol en buen estado y perfil de árboles con algún tipo de pudrición detectada, como herramienta para auxiliar al profesional forestal y permitir visualizar los posibles casos de análisis.

A continuación se presentan algunos ejemplos de perfiles resistográficos obtenidos a partir del software DECOM y su correspondiente interpretación de resultados, de la prueba tomográfica, considerando que es recomendable realizar ambas pruebas (salvo las excepciones indicadas en el presente documento. En este sentido es importante resaltar que la capacidad de análisis y experiencia del profesional forestal determina la adecuada interpretación de resultados.

Tabla 1. Ficha técnica 1 datos de evaluación de tomografía

Ficha técnica 1	
Nombre común	Acacia
Nombre científico	<i>Acacia melanoxylon</i>
Diámetro del tronco	66 cm
Altura de la prueba	128 cm
Numero de sensor de la prueba tomográfica en la cual se realizó la prueba resistográfica (flecha)	Entre 6 y 7
Profundidad de perforación	42 cm del radio del árbol
Localización	Calle 29 carrera 4

Project: Tree: Acacia Japonesa Date: 10/11/2015
Location: Calle 26 con carrera 4 A Tree species: Isotropic

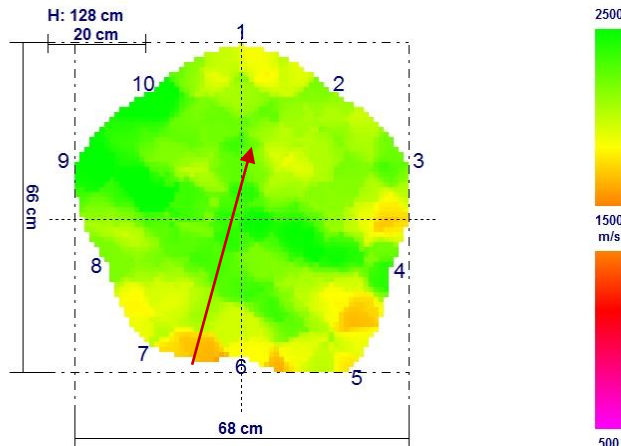


Figura 22 Tomografía 2D individuo de *Acacia melanoxylon* indicando la posición de la prueba de resistografía.

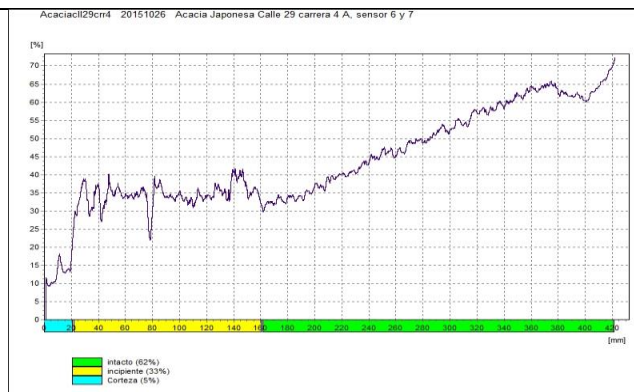


Figura 23 Perfil resistográfico del individuo *Acacia melanoxylon*

Análisis de datos

El análisis del perfil con resistógrafo del individuo de *Acacia melanoxylon* realizado a una altura de 128 cm del nivel del suelo, entre el sensor 6 y 7 de la prueba tomográfica (Figura 22), identificó en la parte inicial una región de 2 cm de corteza. Desde el centímetro 2 hasta 14 cm correspondió a tejido de media a alta densidad y resistencia a la perforación constante, la cual aumentó a partir del cm 16 al 42 (Figura 23). Esto correspondió a un 62% de tejido sano del total de la región analizada, como se observa en la leyenda del perfil. En la imagen tomográfica es posible apreciar en toda la sección transversal no posee tejido con indicios de pudrición, lo cual se corrobora por la mínima variación de resistencia entre el 40% al 60% y las velocidades de propagación de onda registradas de 1500 a 2500 m/s.

Recomendación de manejo

Las secciones y regiones analizadas corresponden a tejido en buen estado, por lo tanto, la recomendación tiende a la conservación o tratamiento silvicultural de poda, siempre y cuando sea analizada el tipo de poda por parte del profesional forestal, de acuerdo con las condiciones de emplazamiento y demás características del árbol.

Tabla 2. Ficha técnica 2 datos de evaluación de tomografía

Ficha técnica 2	
Nombre común	Ciprés
Nombre científico	<i>Cupressus lusitánica</i>
Diámetro del tronco	84 cm
Altura de la prueba	33 cm
Numero de sensor de la prueba tomográfica	2
Profundidad de perforación	45 cm del radio del árbol
Localización	Carrera 45 Calle 58A

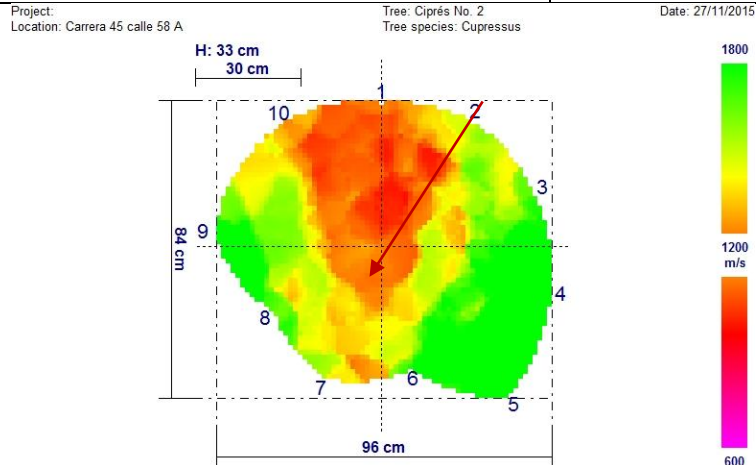


Figura 24 Tomografía 2D individuo de *Cupressus lusitánica* indicando la posición de la prueba de resistografía



Figura 25 Perfil resistográfico del individuo de *Cupressus lusitánica*

Análisis de datos

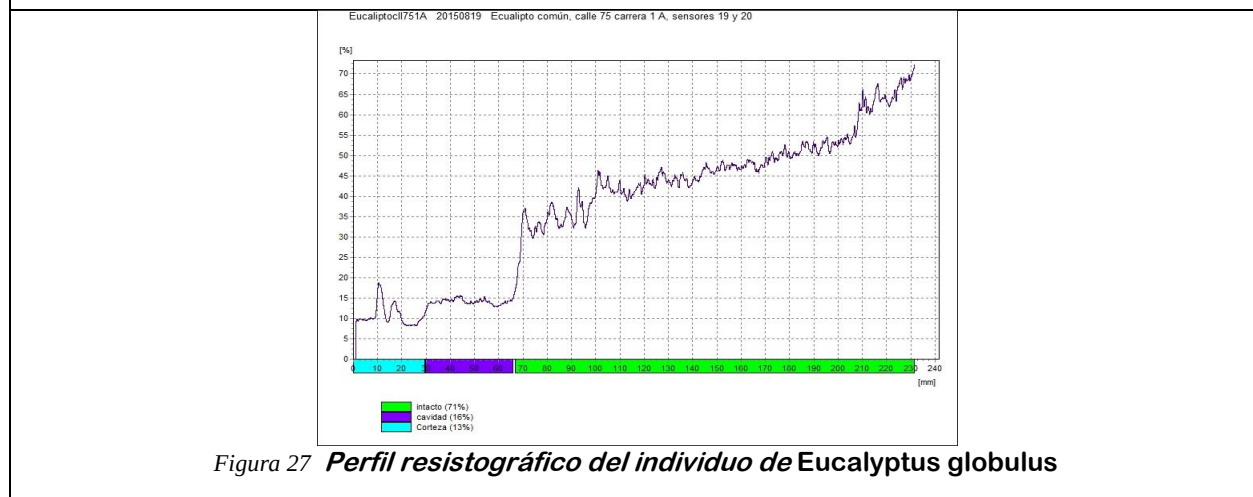
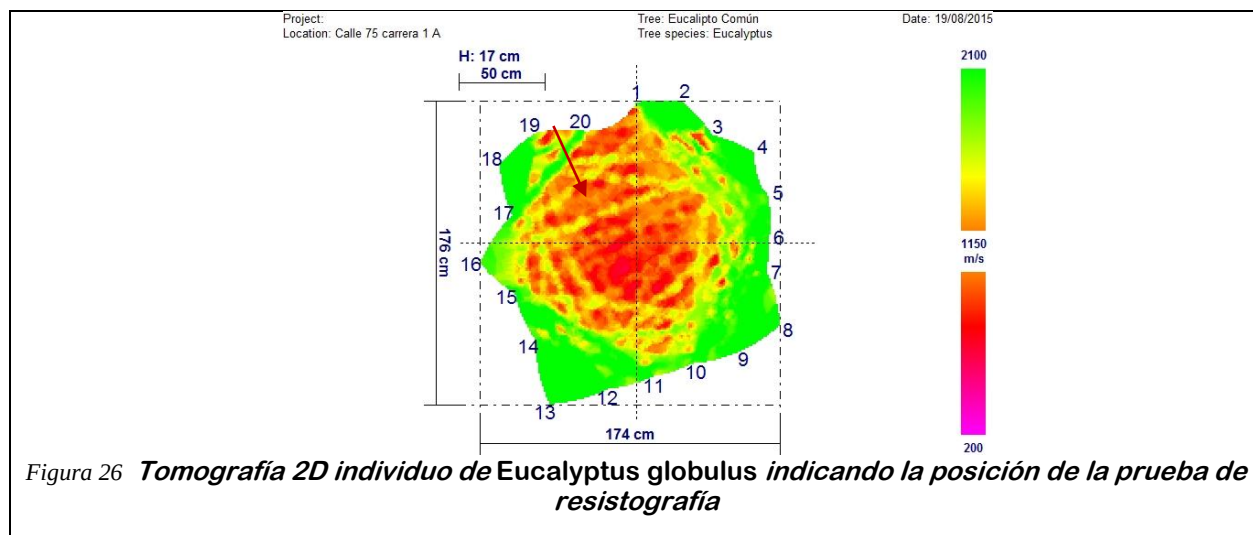
En la imagen tomográfica de la figura 24, correspondiente al individuo de *Cupressus lusitánica*, es posible observar en la sección cercana al sensor 2, regiones con velocidades de propagación de onda de 300 a 1000 m/s, lo cual indica tejido de baja densidad, lo cual se corrobora con la prueba del resistógrafo en la región comprendida entre 22 cm a 26 cm (Figura 25), determinando una caída de la resistencia hasta un valor de 10%, que denota una posible pudrición debido al valor bajo (cercano a 0) de la resistencia a la perforación. Esta pudrición corresponde al 22% de la sección radial analizada. El tejido intacto corresponde al 59% del total del perfil analizado.

Recomendación de manejo

En este caso, la sección analizada mediante la tomografía posee un área considerable de tejido de baja densidad en el interior del tronco, lo cual, debido al gran porte del árbol, puede resultar en probabilidad de falla debido a la afectación de la resistencia de la madera. Para este árbol se recomienda la necesidad de tratamiento integral o tala del individuo, siempre y cuando se analicen las condiciones de emplazamiento y demás condiciones externas del árbol.

Tabla 3. Ficha técnica 3 datos de evaluación de tomografía

Ficha técnica 3	
Nombre común	Eucalipto común
Nombre científico	<i>Eucalyptus globulus</i>
Diámetro del tronco	176 cm
Altura de la prueba	17 cm
Numero de sensor de la prueba tomográfica	Entre sensor 19 y 20
Profundidad de perforación	23 cm del radio del árbol
Localización	Calle 75 Carrera 1



Análisis de datos

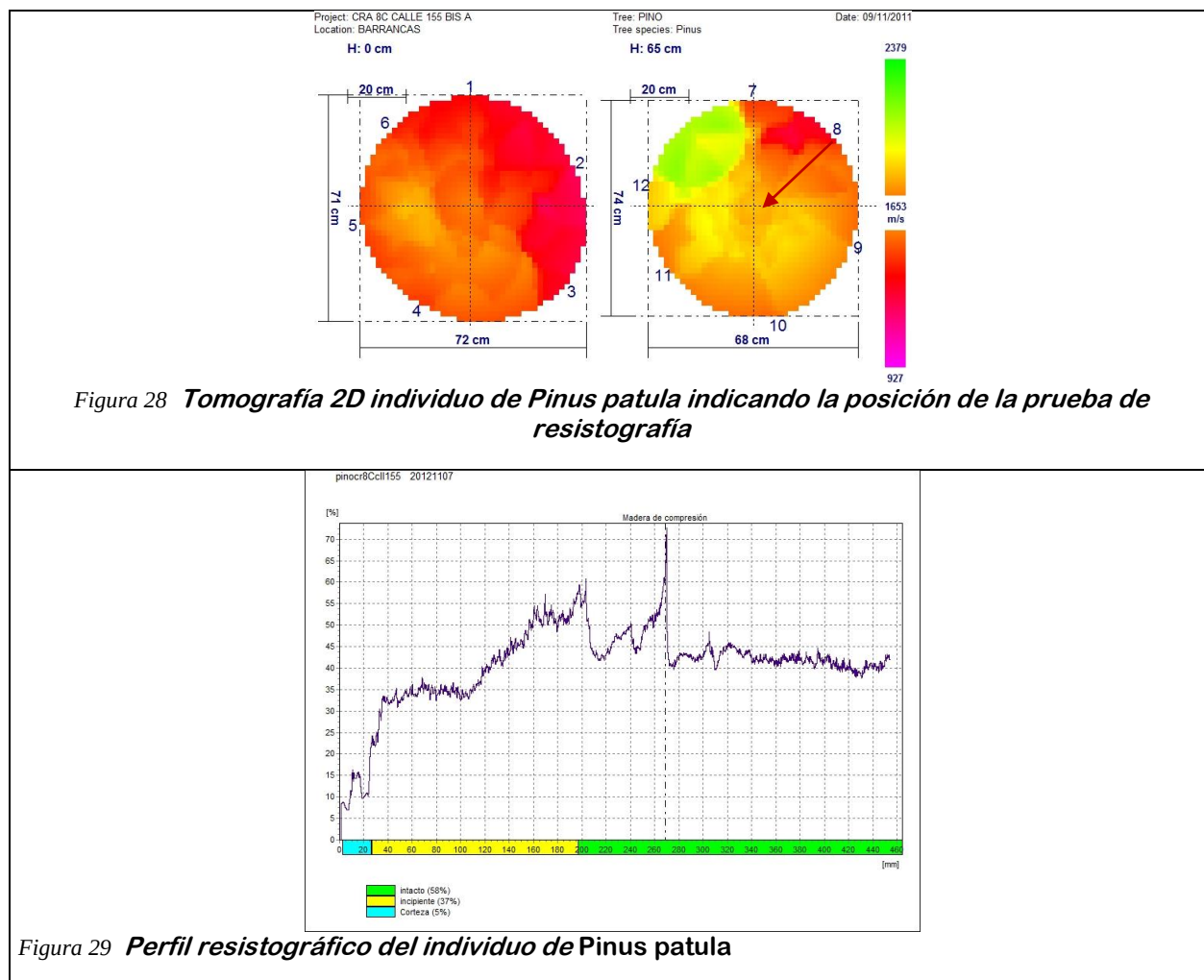
El individuo de *Eucalyptus globulus* analizado corresponde a un árbol de gran porte, maduro, el cual arrojó en la prueba tomográfica (Figura 26) un área aproximada del 70 % de la sección con tejido de baja densidad y posible pudrición o cavidad, lo cual fue corroborado mediante la prueba del resistógrafo (Figura 27). El perfil resistográfico realizado en la región entre los sensores 19 y 20, mostró una región entre 3 cm a 7 cm con una posible cavidad o pudrición representada por la baja resistencia a la perforación, con un valor de 10%. En el tramo posterior se observó presencia de tejido intacto correspondiente al 70% del total del perfil, debido al aumento de la resistencia, que corresponde a la región periférica del tronco del árbol. A pesar de que la prueba resistográfica no fue representativa con relación al radio del árbol, es posible inferir de acuerdo a la prueba tomográfica que la baja resistencia se presenta en la mayor parte de la sección, de acuerdo a las bajas velocidades de propagación de onda (300 a 1000 m/s) madera de baja a media densidad.

Recomendación de manejo

Considerando que la mayor parte de la sección transversal del individuo analizado presenta tejido de baja densidad e indicios de pudrición, es posible determinar que el árbol puede presentar fallas internas que a futuro representan probabilidad de falla, sea en el corto o mediano plazo, debido a la afectación de la resistencia de la madera. En esta evaluación es recomendable considerar mínimo el tratamiento silvicultural de poda, debido al gran porte del árbol, y en el caso que se analicen condiciones externas del individuo y del entorno que puedan generar riesgo debe analizarse la posibilidad de tala por parte del profesional forestal.

Tabla 4. Ficha técnica 4 datos de evaluación de tomografía

Ficha técnica 4	
Nombre común	Pino
Nombre científico	<i>Pinus patula</i>
Diámetro del tronco	74 cm
Altura de la prueba	65 cm
Numero de sensor de la prueba tomográfica	Sensor 8
Profundidad de perforación	44 cm del radio del árbol
Localización	Carrera 8C calle 155



Análisis de datos

En el caso del individuo de *Pinus patula*, es posible observar en la imagen tomográfica velocidades de propagación de onda por encima de 1000 m/s que corresponden a madera de media densidad (Figura 28). El caso particular del perfil resistográfico del individuo de *Pinus patula* (Figura 29) indica en el cm 2 el inicio de la perforación en la corteza, continuando con un aumento e la resistencia un aumento de la resistencia hasta el punto correspondiente a 27 cm, en el que ocurre un aumento abrupto de la resistencia, lo cual obedece a una posible compactación del tejido, característica en coníferas de la madera de reacción (compresión), la cual es más densa que la madera normal (Gardiner, 2014). A lo largo de todo el perfil, se observa una alta resistencia a la perforación, lo cual indica un tejido en buen estado, representado en un 58% de la sección analizada.

Recomendación de manejo

Las secciones y regiones analizadas corresponden a tejido en buen estado, por lo tanto, la recomendación tiende a la conservación o tratamiento silvicultural de poda, siempre y cuando sea analizada el tipo de poda por parte del profesional forestal, de acuerdo con las condiciones de emplazamiento y demás características del árbol.

Tabla 5. Ficha técnica 2 datos de evaluación de tomografía

Ficha técnica 5	
Nombre común	Urapán
Nombre científico	<i>Fraxinus chinensis</i>
Diámetro del tronco	94cm
Altura de la prueba	30 cm
Numero de sensor de la prueba tomográfica	Entre sensor 9 y 10
Profundidad de perforación	45 cm del radio del árbol
Localización	Carrera 24 Diagonal 42 b

Project: SSFFS-04515
Location: Carrera 24 dg 42 B

Tree: Urapán No. 120
Tree species: Fraxinus

Date: 10/07/2015

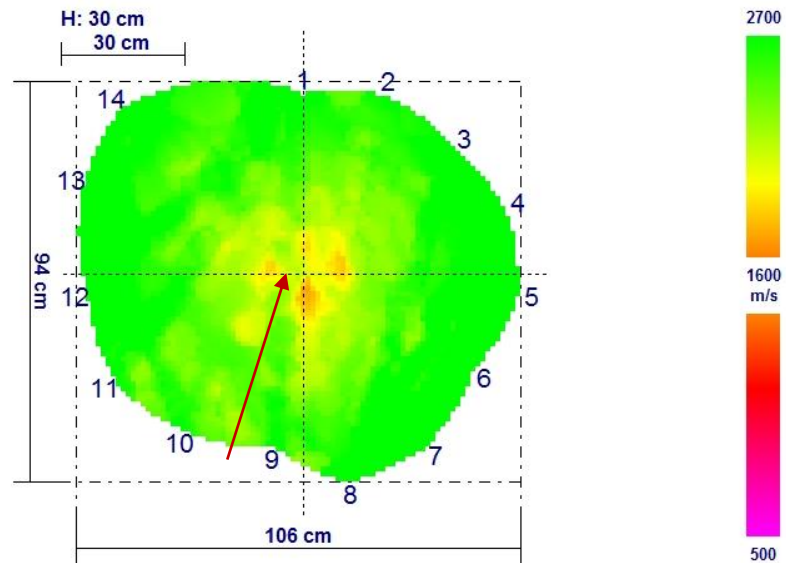


Figura 30 Tomografía 2D individuo de *Fraxinus chinensis* indicando la posición de la prueba de resistografía

Urapancr24cll42 20150710 Urapán Parkway carrera 24 calle 42 B, sensores 9 y 10

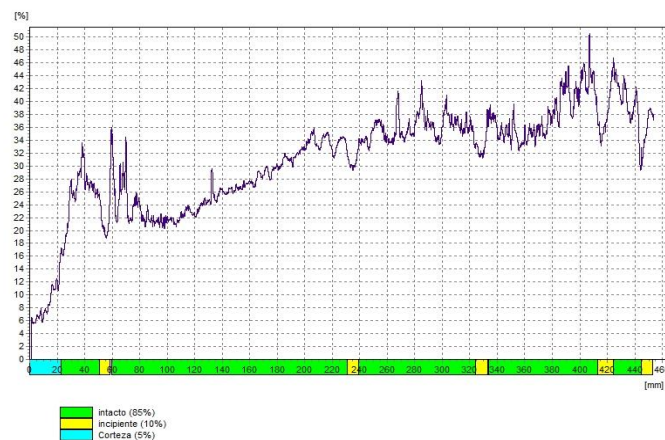


Figura 31 Perfil resistográfico del individuo de *Fraxinus chinensis*

Análisis de datos

En el ejemplo de la Figura 30 se observa la imagen tomográfica de un individuo de Urapán en buen estado, representado por velocidades de propagación de onda que categorizan tejido de media a alta densidad en esta sección transversal (superiores a 1500 m/s). En el perfil de resistografía se confirma que el tejido posee una resistencia en sentido ascendente entre el 25 y 35% debido a las variaciones de densidad de la madera de esta sección. El tejido intacto correspondiente al 85% de la sección (Figura 31).

Recomendación de manejo

Las secciones y regiones analizadas corresponden a tejido en buen estado, por lo tanto, la recomendación tiende a la conservación o tratamiento silvicultural de poda, siempre y cuando sea analizada la necesidad por parte del profesional forestal, de acuerdo con las condiciones de emplazamiento y demás características del árbol.

6. ANÁLISIS DE CASO: CORRELACIÓN DE TOMOGRAFÍAS Y LECTURAS DE RESISTÓGRAFO PARA 6 ESPECIES DEL ARBOLADO URBANO

6.1 Alcance y metodología

La secretaría Distrital de Ambiente, a partir del año 2013 ha realizado 273 evaluaciones con resistografía, de estos datos se seleccionaron 37 individuos que presentaran evaluación con tomografía y resistografía de 6 especies principales, Eucalipto común (*Eucalyptus globulus*), Eucalipto plateado (*Eucalyptus cinerea*), Urapán (*Fraxinus chinensis*) Ciprés (*Cupressus lusitánica*), Acacia (*Acacia* spp) y Pino (*Pinus patula*) con el fin de establecer la relación entre los dos métodos de análisis no destructiva (tomografía y resistografía).

6.2 Análisis estadístico

Se realizó un análisis preliminar de los datos de la matriz numérica de la tomografía y sus correspondientes datos numéricos del perfil de resistografía, con el fin de obtener los valores medios para cada especie. Los datos de valor promedio de la velocidad de propagación de onda y el valor promedio de la amplitud de la resistografía fueron sometidos a un análisis de correlación simple para determinar si existe o no relación lineal entre estas variables.

6.3 Resultados

De acuerdo con los gráficos de dispersión determinados para las variables a analizar en el estudio, las especies que presentaron mayor coeficiente de determinación entre las variables velocidad de propagación de onda en la tomografía y amplitud de resistencia en la resistografía, correspondieron a *Eucalyptus globulus* con $R^2 = 0,3$ (Figura 32c) *Eucalyptus cinérea* $R^2 = 1.0$ (Figura 32c) y *Fraxinus chinensis* con $R^2 = 0.73$ (Figura 32e). Esto significa que la relación entre los dos métodos de evaluación (tomografía y resistografía) presentan mejor comportamiento para estas especies. Similares

resultados de alta correlación fueron determinados en comparación de lecturas de tomografía y resistografía realizados por Rollo et al. (2013) para especies *Eucalyptus saligna* con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.91$. De otro lado en la figura 32a se observa para el género *Acacia*, *Cupressus* (Figura 32b) y *Pinus* (Figura 32b) bajas correlaciones entre las variables, considerando una alta correlación valor de $R^2 = 1$ y bajas correlaciones valor de R^2 cercano a 0. Cabe resaltar que tanto la resistencia a la perforación y la tomografía se basan en las variaciones de la densidad de la madera, por lo tanto se espera que presenten relación entre los valores obtenidos por los dos métodos (Rollo et al, 2013). Los valores medios de amplitud de resistencia para las especies correspondieron a: *Acacia* spp (35%), *Eucalyptus globulus* (34%), *Eucalyptus cinérea* (32%) *Cupressus lusitánica* (25%), *Fraxinus chinensis* (23%) y *Pinus patula* (22%)

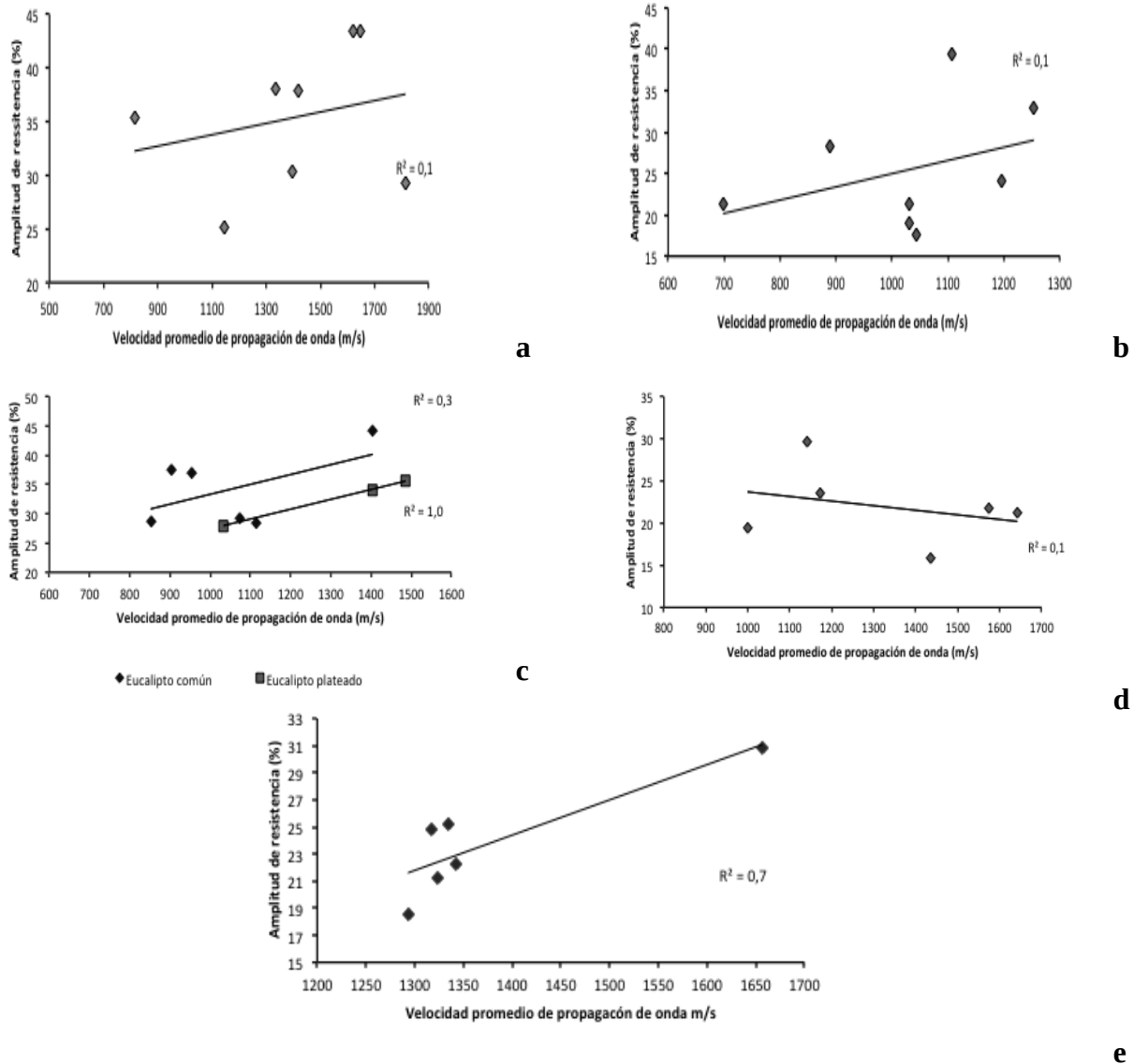


Figura 32 Diagramas de correlación entre la velocidad de propagación de onda (m/s) y la amplitud de resistencia (%) para los géneros (a) *Acacia* b) *Cupressus* c) *Eucalyptus* d) *Pinus* e) *Fraxinus*

7. DETERMINACION DE LAS RECOMENDACIONES DE MANEJO SILVICULTURAL

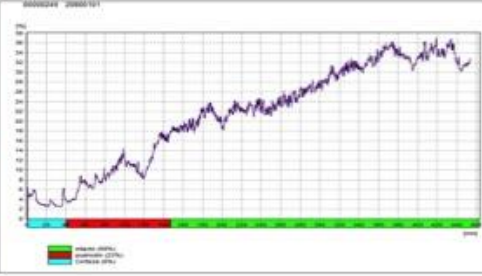
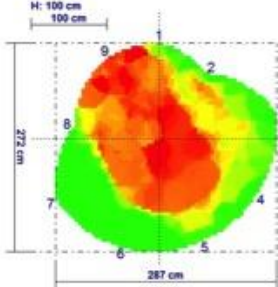
Es importante resaltar que estas recomendaciones deben realizarse con base en el análisis visual del gráfico del perfil de resistografía, el cual muestra la variación de resistencia a la perforación que indican una aproximación al estado interno del tronco en la región analizada. Las recomendaciones de manejo silvicultural deberán realizarse complementando con los resultados de la evaluación tomográfica (cuando sea del caso) o con la evaluación visual analizando las demás condiciones y características del árbol, con el fin de establecer por parte del profesional forestal el tipo de tratamiento silvicultural a realizar.

Tabla 6. Recomendaciones de manejo silvicultural según los resultados de evaluación con resistografía

Nivel de Resistencia a la perforación en el perfil (Amplitud %)	Posible condición del tejido leñoso	Recomendación de manejo
Entre 0 a 10%	Nula a baja resistencia a la perforación indica una posible cavidad o pudrición avanzada (Acuña, 2007)	En este caso debe asociarse al estado general de la tomografía si corresponde con un área mayor al 50% de la sección radial analizada y sumado al resultado negativo de la tomografía se recomienda el tratamiento silvicultural de tala debido a la baja resistencia mecánica del individuo.
Entre 10 y 30%	Madera con resistencia baja a la perforación, lo cual puede denotar tejido con baja densidad debido posiblemente a afectaciones internas como pudrición incipiente (SDA, 2018)	Realizar la recomendación de manejo complementado con la evaluación tomográfica o en el caso con la evaluación visual, con el fin de determinar la necesidad del tratamiento silvicultural.
Mayor al 30%	Madera de alta densidad, tejido intacto (SDA, 2018)	Realizar la recomendación de manejo complementado con la evaluación tomográfica o en el caso con la evaluación visual, con el fin de determinar la necesidad del tratamiento silvicultural.

8. MODELO DE FICHA TÉCNICA DE REGISTRO- EVALUACIÓN TÉCNICA DEL ARBOLADO CON TOMÓGRAFO Y RESISTÓGRAFO

El siguiente formato debe diligenciarse posterior a la realización de visita con los equipos especializados y adjuntarse al respectivo concepto técnico, con el fin de que sirva de soporte técnico para recomendación del tratamiento silvicultural a realizar en el árbol. El formato es el mismo que se utiliza para la tomografía y se incluyen los registros de perfil y respectivo análisis de resultados.

 FICHA TÉCNICA DE REGISTRO. Página 1 de 2	
EVALUACIÓN TÉCNICA DEL ARBOLADO CON TOMÓGRAFO Y RESISTÓGRAFO.	
1 Fecha de visita.	14 11 2018 2 CONCEPTO TECNICO
DATOS GENERALES	
3 Dirección	Calle 79 b N° 4-26 Nogales
4 Espacio:	☐ Público de uso público ☐ Público de uso institucional ☒ Privado
5 Especie:	<i>Eucalyptus globulus</i> 6 Altura (m): 36 7 DAP (cm): 245
RESULTADOS.	
8 REGISTRO FOTOGRÁFICO Y RESISTOGRAFÍA  	
9 REGISTRO TOMÓGRAFO - TOMOGRAMA 2D Project: eucalypto Location:  H: 100 cm 100 cm 272 cm 287 cm Tree species: Eucalyptus Date: 14/11/2018	

	10 MODELACIÓN MECÁNICA Project: eucalypte Location: Tree species: Eucalyptus Date: 14/11/2018 H: 100 cm
11	CONCEPTO TÉCNICO Se realizó evaluación tomográfica al individuo de <i>Eucalyptus globulus</i> ubicado al costado norte del desarrollo inmobiliario Serrania de los Nogales, con el fin de determinar el estado interno del tronco, pues se trata de un árbol de gran porte, cercano a infraestructura y con ramas de gran tamaño. Se efectuó la prueba a 100 cm de la base del suelo, encontrando entre los sensores 1-5; 5-9; 5-8 un área correspondiente al 60% de la sección diametral catalogada como de baja densidad con velocidades de propagación de onda entre 300 m/s a 600 m/s, posiblemente asociada a indicios de pudrición debido a la condición de vetustez del individuo arbóreo. El área restante de la sección corresponde a tejido en buen estado que se encuentra principalmente en la región periférica del árbol. La modelación mecánica indicó que existe una pérdida de alrededor de 30% de la resistencia del tronco en dirección noroccidente-suroriente, esto debido a la disminución de la resistencia en sentido opuesto, como se mencionó debido al área considerable de tejido de baja resistencia, lo cual puede generar en el corto o mediano plazo susceptibilidad al volcamiento o caída de ramas. La prueba de resistografía desde la región próxima al sensor 9, indicó una variación de densidad del 30% desde la corteza hasta una profundidad de 45 cm en dirección radial al centro del tronco, lo cual corroboró la disminución de densidad en esa región.
12	ELABORÓ: JEIMY BLANCO FLOREZ M.P. 19590 M.A.D.R Firma:

Figura 33. Ficha técnica de registro de evaluación técnica del arbolado con Tomógrafo

Instructivo de diligenciamiento:

A continuación se presenta el instructivo acorde a los numerales señalados en la figura 33, la cual corresponde a la Ficha técnica de registro.

- 1. Fecha de visita:** Ingrese la fecha de la evaluación con tomografía
- 2. Concepto Técnico:** Diligencie en el caso que el árbol tenga algún tipo de antecedentes
- 3. Dirección:** Especifique la dirección del sitio de la evaluación
- 4. Espacio:** Seleccione si corresponde a espacio público o privado
- 5. Especie :** Coloque el nombre científico de la especie evaluada
- 6. Altura:** Especifique los datos correspondientes a altura total del árbol en metros
- 7. D.A.P:** Especifique los datos correspondientes al diámetro (cm)
- 8. Registro fotográfico:** Coloque fotografía general y de detalle de la evaluación del individuo arbóreo, en el caso de resistografía colocar el perfil en formato jpg.
- 9. Registro tomografo:** Coloque la imagen exportada en JPG correspondiente al gráfico de superficie 2D

10. Modelación mecánica: Coloque la imagen exportada en JPG correspondiente al gráfico del modulo de modelación mecánica.

11. Concepto técnico: De acuerdo con las recomendaciones de este documento, indicar las regiones en el perfil en las que posiblemente se evidencia baja resistencia, presencia de pudriciones o cavidades, evaluar las diferencias en la amplitud de la resistencia (eje y del gráfico) en relación a la longitud del perfil analizado, indicar el porcentaje de tipo de tejido de acuerdo con la clasificación asignada y puntualmente la localización de posibles defectos.

12. Nombre y matrícula profesional del ingeniero que realizó la evaluación y análisis

9. CONCLUSIONES

- El resistógrafo es un método eficaz, mínimamente invasivo que de manera inmediata realiza un diagnóstico del estado interno del tronco detectando defectos ocultos a simple vista. El resultado de la resistografía representa las variaciones de amplitud de resistencia en relación a la profundidad de penetración de la sección radial analizada. La prueba debe realizarse en la misma altura de la sección transversal en la que fue realizada la tomografía.
- El análisis con resistógrafo representa el estado interno del tronco en la sección analizada y no representa el estado general del árbol.
- Es necesario inicialmente realizar la prueba de tomografía y en el caso que se detecten indicios de una posible pudrición, se debe complementar la evaluación con el uso del resistógrafo. Por tal motivo se considera al resistógrafo como un método de evaluación complementaria.
- Cuando el resultado de la tomografía es satisfactorio y el árbol se encuentra en buen estado, no se hace necesario realizar la prueba del resistógrafo, en este caso se hará el informe correspondiente a la tomografía.
- En el caso de palmas, árboles de conformación hueca o árboles con limitaciones para realizar la tomografía, es posible realizar únicamente la resistografía para determinar las variaciones de resistencia, para este fin es necesario realizar varias mediciones en diferentes puntos de la sección transversal, con el fin de compararlos y tener más información sobre el estado interno del tronco.
- Cuando el resultado de la resistografía determina amplitudes de resistencia entre 0 y 10% que equivalen a una nula a baja resistencia a la perforación, se evidencia una posible cavidad o pudrición avanzada, que conlleva a la toma de decisión de un tratamiento de intervención silvicultural.
- El uso del resistógrafo en especies muy densas requiere analizar cuidadosamente el perfil para evitar interpretaciones erróneas, por causa de la influencia de la fricción producida durante la penetración de la aguja en el tronco (Nutto (2015)). Por lo anteriormente mencionado, la interpretación de resultados por parte del profesional forestal es fundamental para la utilización de esta herramienta pues debe considerar las diferencias relacionadas con la densidad de las especies a analizar.

10. BIBLIOGRAFIA

Abreu, L. B., Lima, J. T., Rabelo, G. F., Gomes, F. C., Trugilho, P. F., & Eloy, F. de S. (2013). Avaliação não destrutiva de estruturas de madeiras em edifício histórico de tiradentes, MG. *Cerne*, 19(3), 481–487

Acuña et al. (2011) Aplicacion del resistógrafo a la obtencion de la densidad y la diferenciación de especies de madera. *Materiales de construcción* 61 (303) 451-464.

Acuña et al.(2007) Análisis y validación de la técnica resistográfica aplicada a la madera estructural. 11ª Congreso español de END,11p.

Barría, C., Sandoval, S., & Rojas, G. (2017). Uso del método de resistografía para la predicción de la densidad básica de la madera en árboles en pie de *Pinus radiata*. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 19.

Bethge, K., Mattheck, C., & Hunger, E. (1996). Equipment for detection and evaluation of incipient decay in trees. *Arboricultural Journal*, 20(1), 13–37.

Blanco et al. (2012) Avaliacao nao destrutiva de arvores de *Tectona grandis* e sua correlacao com a densidade básica. XII Encontro Brasileiro de maderas e estruturas em madeira.

Calaza, M.P, Iglesias, M.J (2016) El riesgo del arbolado urbano. Contexto, concepto y evaluación.526p

Costello, L. R., & Quarles, S. L. (1999). Detection of wood decay in blue gum and elm: An evaluation of the Resistograph and the portable drill. *Journal of Arboriculture*, 25(6), 311–318.

Gantz, C. 2002. Evaluating efficiency of the resistograph to estimate genetic parameters for wood density in two softwood and two hardwood species. Master of Science Thesis, North Carolina State University, Raleigh, United State.

Gardiner, B. (2014)Biology of reaction wood. Springer. 281p.

Guller, B., Guller, A., & Kazaz, G. (2012). Is Resistograph an Appropriate Tool for the Annual Ring Measurement of *Pinus Brutia*? *Defektoskopie*, 89–94.

Hibbeler R.C (2013) Resistencia dos materiais. 5 edicao.Editorial peraeon 2003

Ifju, G. (1969) Within-growth-ring variation in some physical properties of southern pine wood. *Prod J* 14: 366–372.

Isik, F., & Li, B. (2003). Rapid assessment of wood density of live trees using the Resistograph for selection in tree improvement programs. *Canadian Journal of Forest Research*, 33(12), 2426–2435.

Lima, J.T. et al. Adequação do resistograph® para a estimativa da densidade básica da madeira de *Eucalyptus*. IX Encontro Brasileiro de Madeiras e Estruturas em madeira. São Carlos. 2006.

Lima, J. T. et al. (2007). Uso do resistógrafo para estimar a densidade básica e a resistência à perfuração da madeira de Eucalyptus. *Scientia Forestalis/Forest Sciences*, (75), 85–93.

Lin, C. J., Wang, S. Y., Lin, F. C., & Chiu, C. M. (2003). Effect of moisture content on the drill resistance value in Taiwan plantation wood. *Wood and Fiber Science*, 35(2), 234–238.

Nicolotti and Miglietta, P. (1998). Using High-Technology Instruments To asses defect in trees. *Journal of arboriculture*, 24 (6), 297–302.

Nutto, L.Biechele, T. (2015). Drilling resistance measurement and the effect of shaft friction – using feed force information for improving decay identification on hard tropical Wood. General Technical Report FPL-GTR-239 • Proceedings: 19th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium

Matteck C. Kluber H, (1997)Wood- The internal optimization of trees. Springer. 127p.

Matheny, N.P., and J.R. Clark. 1994. Evaluation of Hazard Trees in Urban Areas, 2nd ed. International Society of Arboriculture, Savoy, IL. 85 pp.

Mattheck, C.G., and H. Breloer. 1994. The Body Language of Trees: A Handbook of Failure Analysis. Her Majesty's Stationery Office, London, UK. 240 pp.

Panshin and De Zeeuw (1970) Textbook of Wood technology. 4 edición. 722p.

Pellerin, R.F., & Ross, R.J. Editors. (2002). Nondestructive Evaluation of Wood. Forest Products Society. USA. 210 p

Rinn, F., Rinn, F., & Rinn, F. (1990). RESISTÓGRAFO ® Serie 4. DECOM Manual .

Rinn, F. (1996) Resistographic visualization of tree ring density variation. *Tree Rings*. 871-878

Rinntech. (2006) DECOM Software para la evaluación del resistógrafo. Manual del Usuario

Rollo, F. M. de A., Soave Junior, M. A., Viana, S. M., Rollo, L. C. P., do Couto, H. T. Z., & Filho, D. F. da S. (2013). Comparação entre leituras de resistógrafo e imagens tomográficas na avaliação interna de troncos de árvores. *Cerne*, 19(2), 331–337.

Silva et al. (2017) Estimativa da densidade da madeira em árvores vivas de *Cedrela fissilis* Vell. através de resistografia. *ci. For.*, Piracicaba, v. 45, n. 113, p. 139-144, mar. 2017

Tannert et al. 2013. In situ assesment of structural timber using semi destructive techniques. *Material and strucutre*. 47(5).

Wang, X., & Allison, R. B. (2008). Decay detection in red oak trees using a combination of visual inspection, acoustic testing, and resistance microdrilling. *Arboriculture and Urban Forestry*, 34(1), 1–4.