UTILIZACIÓN DE LA TÉCNICA DE ULTRASONIDOS PARA LA DETECCIÓN DE PICUDO ROJO EN PALMERAS DE GÉNERO *PHOENIX*

PACS: 43.35.+d

Jorge, David [1]; Rubio, Constanza [2]; Bravo, José Mª [2]; Ferri, Marcelino[3]

[1] Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del medio Natural, Universitat Politècnica de València; dajorga2@etsiamn.upv.es
[2] Centro de Tecnologías Físicas: Acústica, Materiales y Astrofísica, Departamento de Física Aplicada, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, Valencia E46022; crubiom@fis.upv.es, jobrapla@fis.upv.es
[3] Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de Zonas Costeras, Departamento de Física Aplicada, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, Valencia E46022; mferri@fis.upv.es

ABSTRACT

In recent years, the emergence of *Rhynchophorus ferrugineus* (red palm weevil) is affecting the palms of the Mediterranean area. The fight against the insect plague is planned in early stage of infection or as a preventive method. In this line, this work provides a methodology based on non-destructive testing for the detection of bore by red palm weevil larvae. Ultrasonic signals are used for this purpose. Two different study techniques widely used in other areas, such as phase delay and eco-impulse have been applied. A protocol that allows the detection of the galleries, artificially induced in vegetal material, has been established.

RESUMEN

En los últimos años, la aparición de *Rhynchophorus ferrugineus* (picudo rojo) está afectando a las palmeras del arco Mediterráneo. La lucha contra la plaga de estos insectos está prevista en la etapa temprana de la infección o como método preventivo. En esta línea, este trabajo proporciona una metodología, basada en ensayos no-destructivos, para la detección de galerías realizadas por las larvas de picudo rojo mediante señales de ultrasonido. Se han aplicado dos técnicas utilizadas en otros ámbitos como son el retardo de fase y el eco-impulso. Se ha establecido un protocolo que permite detectar las galerías, provocadas artificialmente, en el material vegetal.

INTRODUCCIÓN

Gracias a sus características, el uso de ultrasonidos resulta una técnica que ofrece un amplio abanico de aplicaciones dentro del ámbito agroforestal siendo utilizada en muchos países para estimar la calidad de la madera de distintas especies, así como la detección de imperfecciones causadas por distintos agentes físicos como daños provocados por insectos xilófagos (Acuña et al., 2006). Además, recientemente, un estudio manifestó que los ultrasonidos son capaces de detener el crecimiento de micro y macroalgas en balsas de riego evitando problemas de obturación en los goteros de riego (Maestre et al., 2015) o la mejora de la calidad de procesos dentro de la industria agroalimentaria.

El presente estudio nace de la necesidad de controlar la plaga de Rhynchophorus ferrugineus (picudo rojo o gorgojo de las palmeras) que está causando la muerte de muchas especies vegetales de la familia de las palmáceas especialmente del género Phoenix como son P. *dactylifera* o *P. canariensis*. España es un país muy vinculado a este cultivo en todas las provincias de la cuenca mediterránea, siendo la Comunidad Valenciana con más de 500 ha cultivadas y una producción de 8.000 toneladas anuales, una de las regiones más importantes. El cultivo presente interés ornamental y comercial tanto para la producción de dátiles como para la obtención de la palma blanca en la zona productora de Elche. Este producto único en el mundo se obtiene por el encaperuzamiento de las hojas más nuevas de la palmera. Además, las palmeras *Phoenix* sp. constituyen una especie de gran valor ornamental, sobre todo en zonas del litoral mediterráneo, llegando a tener en 2006 cada palmera un valor aproximado de 15.000€ (MAGRAMA, 2015).

El picudo rojo es un insecto perteneciente al orden de los coleópteros. Los principales daños ocasionados en las palmeras son producidos por las larvas al alimentarse del tejido interno del tronco, concretamente en la zona apical cercana a las hojas siendo las galerías producidas por estos insectos de entre 5 y 10 mm de diámetro aproximadamente. En la actualidad existen diversos mecanismos de control de la plaga (químico, biológico, biotécnico, entre otros) cuyo éxito está muy ligado a la detección temprana de la infestación. Por ello, el empleo de técnicas no destructivas, como ahora el posible uso de ultrasonidos, que permitan detectar precozmente la presencia de picudo rojo en las palmeras resulta de gran importancia ante este problema. Por ello, el presente trabajo se postula como un primer paso que permita detectar galerías en material vegetal de palmeras del género *Phoenix,* en condiciones de laboratorio.

METODOLOGÍA Y SET-UP EXPERIMENTAL

La hipótesis con la que se trabaja se basa en la disminución de amplitud en la señal registrada en los transductores receptores, que cabe esperar cuando un orificio se interpone entre la

emisión y recepción de la señal (efecto sombra). Asimismo se estudian cambios en aspectos temporales de la señal como ecos, desfases o retardos, en general, interferencias de la señal consigo misma al ser reflejada por el cambio de impedancia debido a la existencia de galerias. En esta fase de la experimentación, se han abierto galerías artificiales, para poder controlar diferentes parámetros, empleándose fragmentos de palmeras con tejido vegetal totalmente seco, por considerase ésta la condición más desfavorable.

Las medidas se han realizado en un laboratorio de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural (ETSIAMN) situada en el Campus de Vera de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Los fragmentos de palmeras sobre los cuales se ha realizado el estudio se recogieron de distintas palmeras datileras muertas del núcleo urbano de Catarroja (Valencia). Los resultados obtenidos se podrán extrapolar a todas las especies que presenten características similares en cuanto al medio de propagación de los ultrasonidos.

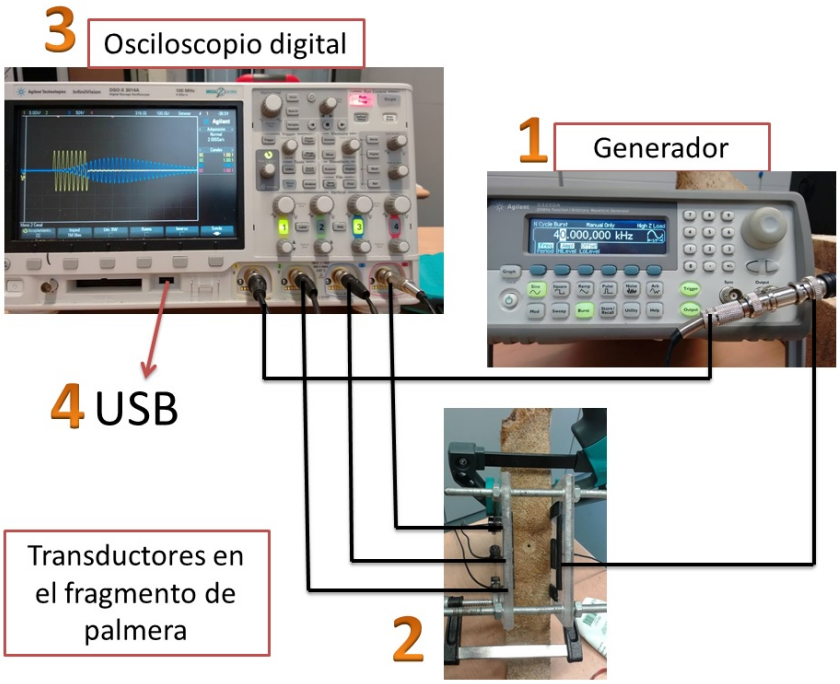

Figura 1. Esquema del equipo experimental.

El equipo experimental, esquematizado en la Figura 1, consta de un generador Agilent 33220A emitiendo con una frecuencia de 40 kHz con una tensión de 10 V. Se han utilizado cuatro transductores; uno de los cuales conectado al generador emitiendo 8 pulsos ultrasónicos a propagar a través de la palmera y, por otro lado, los otros tres transductores actuando como receptores recogiendo la señal recibida al otro lado de la palmera. Todas las señales son representadas en el osciloscopio digital (Agilent Technologies, DSO-X-3014A) a través de sus cuatro canales. La señal emitida se presenta en una escala de 5 V en la pantalla mientras que las distintas señales recibidas se registraron en la escala de 5 mV.

Para la sujeción de los transductores se ha ideado un sistema, esquematizado en la Figura 2, formado por dos planchas de metacrilato sujetas por unos tornillos de 1 cm de diámetro de forma que siempre se encuentran paralelas y a la misma altura, permitiendo cambiar la distancia entre ambas placas según convenga pero sin que una pueda moverse verticalmente respecto a la otra. Una de las placas lleva incorporado un único transductor que actuará como emisor mientras que en la otra plancha se encuentran los tres transductores que actúan como receptores. Las planchas pueden presentar dos disposiciones según cual sea la colocación de los tornillos: Así se consigue que la posición de los receptores respecto al transductor emisor sea enfrentada o al tresbolillo. De esta forma, usando las dos disposiciones y colocando siempre el emisor en el mismo punto, se permite realizar un barrido completo de la palmera respecto a la altura establecida con el punto de emisión. Para evitar posibles roturas de los transductores, en ambas planchas se han colocado pequeños fragmentos de un material elástico evitando que el transductor soporte compresiones excesivas.

Para favorecer la adaptación de impedancias entre el transductor y el medio se coloca una capa de gel (Transonic Gel) en cada uno de los transductores de forma previa a la colocación del dispositivo de sujeción en la palmera, repitiéndose esta operación cada vez que se necesita emitir una nueva señal. Además, para asegurar que la presión de los transductores sobre las palmeras sea lo más homogénea y estable posible, en cada medida se utilizan dos gatos de sujeción a cada lado de las planchas.

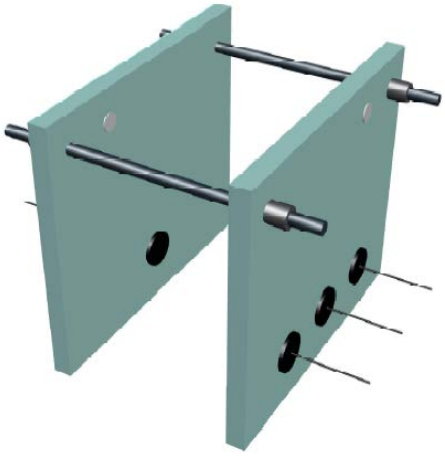

Figura 2. Modelo del aparato de sujeción de los transductores.

El ensayo se estructuró en varias pruebas. En primer lugar se estudió la propagación de la señal ultrasónica a través del material vegetal, sin orificio, en estado de total sequedad. Se realizó un barrido de la zona central de la palmera evitando bordes en los que podía haberse dado reflexiones y problemas asociados con la heterogeneidad del material. Se realizaron, por tanto, 4 tipos de medidas a través estas dos variables. Una vez realizada esta caracterización se repitieron las distinta mediciones, pero con la presencia de un orificio de 10 mm centrado

respecto al transductor emisor, para comprobar el efecto en los distintos parámetros a analizar en las señales recibidas al encontrarse con un obstáculo (aire) entre el tejido de la palmera, respecto a las medidas realizadas sin el mismo. Las galerías se realizaron de forma artificial con un taladro utilizando distintas brocas según la prueba. Así mismo, todas estas medidas se han hecho de forma idéntica en varios fragmentos de diferentes palmeras realizando aproximadamente 100 medidas. Por completitud, se han cogido otros fragmentos de palmera con las mismas características que los anteriores y siguiendo el mismo protocolo, se realizaron las medidas sin orificio y con orificio de 1, 5 y 10 mm efectuando 10 repeticiones en cada uno de los casos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se han basado en la comparación de las amplitudes de las señales recibidas y en la forma de las envolventes. Comparando las medidas del mismo fragmento de palmera en el mismo punto de medida, se puede comprobar, en prácticamente el 100% de los casos, que la amplitud máxima de la envolvente de la señal registrada por el transductor central (gráficamente expresado de color rojo) disminuye de forma considerable cuando hay presencia de orificio en la palmera respecto a la medida con medio homogéneo (sin galería). Fig. 4.

La amplitud registrada en el transductor centrado es mayor que la detectada en los transductores laterales en la mayoría de puntos cuando se mide –a modo de control- en la madera sin orificios. Sin embargo dicha amplitud registrada en el transductor centrado (rojo) es comparable o menor que la detectada en los transductores verde y azul (transductores laterales) en la mayoría de puntos una vez se practica el orificio. Esto informa de la existencia de una “sombra” que impide que llegue la señal por el canal centrado. En efecto, en las medidas efectuadas en los mismos puntos pero sin orificio, se aprecia que la amplitud de señal centrada es mayor a las laterales contiguas por un factor de un valor de entre 2’5 y 3’5. Esta disminución en la amplitud se visualiza más en unas medidas que en otras. Esta variabilidad, se debe, por un lado a la dificultad en lograr en todos los ensayos la exactitud en la posición del transductor emisor respecto de la situación de la galería, y por otro, a la variación de presión a la que están sometidas las placas y por tanto los transductores. No obstante, a mayor o menor escala, la disminución de la amplitud ocurre en la totalidad de los casos. Para facilitar la comparación entre medicas –con y sin orificio- valoraremos el parámetro directividad (D) expresado como la relación entre la amplitud de señal ($A_{t\ central}$) y la media de las amplitudes de las señales registradas por los transductores laterales ($A_{t\ lateral}$); obteniéndose la amplitud en todos los casos a partir de la integración de los respectivos registros temporales. La ventaja que ofrece esta directividad, es que resulta independiente en gran medida de la configuración concreta del dispositivo en cada medida.

$$D = \frac{A_{t.\ central}}{\left(\frac{A_{t.\ lateral\ 1} + A_{t.\ lateral\ 2}}{2}\right)}$$

La directividad en las medidas efectuadas con presencia del orificio en la palmera siempre es menor respecto a las medidas sin él. En algunos casos, además, la directividad llega a ser menor que 1 en las medidas con presencia de orificio, lo que significa que la amplitud de la señal del transductor central disminuye de forma que llega a ser menor que la recibida por los transductores laterales. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de las gráficas obtenidas donde se aprecia este fenómeno.

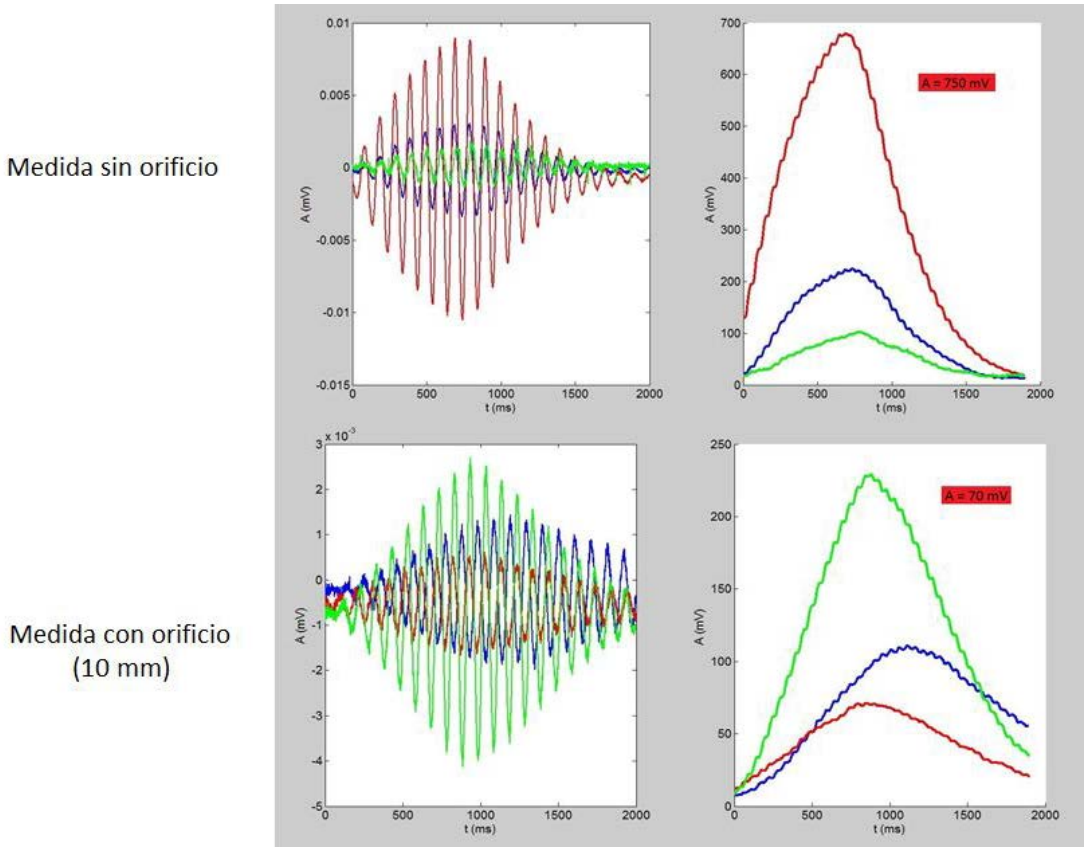

Figura 4. Comparación amplitud recibida por el transductor receptor central (señal roja) en dos medidas en el mismo fragmento de palmera sin y con orificio de 10 mm de diámetro.

Cuando la disposición de los transductores con respecto al orificio es tal que la sombra de este no es directamente proyectada sobre alguno de los transductores, la directividad no arroja datos concluyentes. En esos casos la detección de los orificios se asocia a la presencia de ecos en el registro temporal de la señal. Estos ecos se deben a que los cambios significativos de la impedancia del medio generan reflexiones, de modo que la energía “traza distintos caminos”, con distintos tiempos. Este fenómeno se puede comprobar gráficamente a través de la forma de la envolvente con la visualización de dos picos de señal debido a dicho retardo. En la Figura 5 se muestra un ejemplo de las medidas registradas donde se aprecia la presencia de ecos.

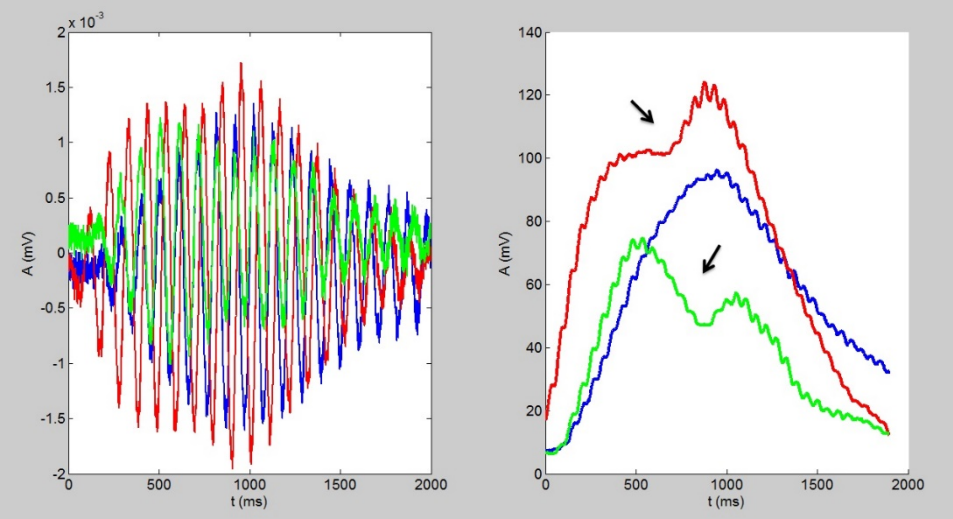

Figura 5. Ecos recibidos en palmeras con presencia de orificios.

A la vista de estos resultados, por tanto, se puede afirmar que la técnica de ultrasonidos si es capaz de detectar la presencia de las galerías en los fragmentos de palmeras utilizados a través de los dos fenómenos: la disminución de la amplitud y la presencia de ecos.
Cuando la galería se encuentra justo en el centro de la trayectoria de propagación de la señal emitida, debido al efecto sombra que genera el obstáculo, se puede detectar su presencia a través de la disminución de la amplitud pudiéndose incluso encontrar amplitudes menores en el transductor central que en los laterales (en el caso de que el orificio tape completamente la trayectoria entre los transductores emisor y receptor central). Sin embargo, si la galería no está completamente centrada y sólo obstaculiza parcialmente sigue habiendo una disminución de la amplitud, si bien la presencia de la galería se detecta con mayor claridad a partir de la forma de la envolvente a través de la presencia de ecos.

Para simular los primeros estados de ataque de la plaga del picudo rojo, momento óptimo para su control, se han practicado orificios con un diámetro de 1 mm. En este caso el efecto de sombra es prácticamente inapreciable, debido tanto al propio tamaño del transductor (que nunca recibe una sombra completa) como al aumento del efecto de difracción asociado a la disminución del obstáculo. No obstante, a través del estudio temporal de la señal, se aprecian ecos debidos al retardo de la energía reflejada similares a los observados con orificios de mayor diámetro Figura 6.

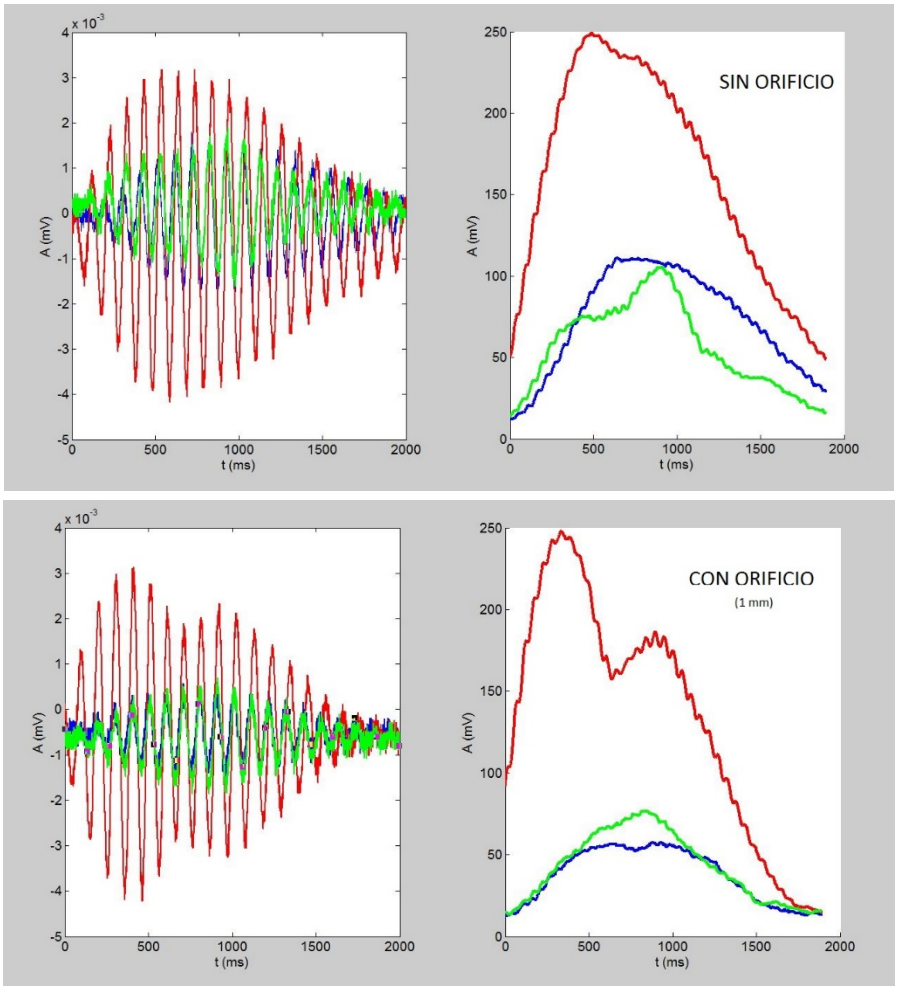

Figura 6. Señal recibida en fragmento de palmera sin y con orificio de 1 mm de diámetro.

Hay que tener en cuenta que el método es muy sensible a las características del transductor, y si cambia su factor de calidad o su frecuencia de resonancia hay cambios significativos que podrían malinterpretarse. También es muy sensible a parámetros de montaje, presión, punto exacto de contacto, cantidad de gel, etc. Queda claro que el método permite la detección de galerías, en las condiciones estudiadas en laboratorio. Queda ahora, definir un protocolo que permita detectarlas en situ. Este último paso es el que posibilitará llevar el método al éxito.

Por último, en las medidas realizadas con fragmentos de palmeras de 30 cm de espesor, el doble que en las pruebas anteriores, no se ha podido obtener ninguna conclusión puesto que la señal recibida ha sido prácticamente nula al haber demasiada atenuación en el medio. Para la correcta realización de estas medidas será necesario, por tanto, disponer de un amplificador de potencia conectado al generador para que se pueda recibir una correcta señal que se pueda trabajar con ella. En el presente estudio no se han podido realizar estas medidas con éxito al no disponer de un dispositivo de amplificación válido para el ensayo experimental.

CONCLUSIONES

La técnica de ultrasonidos permite detectar galerías internas en el tejido vegetal de las palmeras del género *Phoenix*, en condiciones de laboratorio, con total sequedad del material vegetal y propagación de las ondas emitidas por un medio bastante homogéneo. Esta afirmación se puede dar como válida para los espesores de palmera ensayados de 15 cm necesitando de una mayor potencia del generador a través del uso de un amplificador para poder medir en espesores mayores.

La amplitud de la onda transmitida a través del tejido vegetal, así como la directividad del haz, son altamente dependientes de las condiciones de acoplamiento entre transductor y tejido. Condiciones que son muy difícilmente reproducibles (presión exacta, espesor de la capa de gel, distribución irregular de los haces de fibras, deformaciones permanentes del tejido por presiones ejercidas en experimentos anteriores, etc). No obstante los parámetros que se infieren de la distribución temporal de la señal así como de la comparativa entre distintos transductores de una misma medida resultan ser mucho más independientes de la configuración particular de cada medida; y por esta razón se ha basado en ellos el estudio. En el estado actual de la investigación, las condiciones del estudio en el laboratorio distan aún demasiado de las condiciones de un estudio in situ con material vivo. Es por ello que, si bien la técnica es conceptualmente válida, es pronto para concluir que su extrapolación a los casos reales pueda llevarse con éxito

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACUÑA, L., DÍEZ, M.R., CASADO, M., 2006. Los ultrasonidos y la calidad de la madera estructural. Aplicación a Pinus pinaster. *Universidad de Huelva*. 7-26

AGUSTÍ, M., 2010. *Fruticultura*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. 507 pp.

CABELLO, T., 2006. Biología y dinámica de población del picudo rojo de la palmera, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790) (Coleoptera: Dryophothoridae) en España. *I Jornada Internacional sobre el Picudo Rojo de las Palmeras*. *Fund. Agroalimed/Gen. Valenciana. Valencia., 1*: 19-34.

MAESTRE, J.F., SALCEDO, F., ALARCÓN, J.J., SOTO-GARCÍA, M., 2015. Aplicación de ultrasonidos para el control de algas en aguas regeneradas almacenadas en balsas de riego. *Actas del XXXIIII Congreso Nacional de Riegos*.

MAGRAMA, 2015. *Avance del Anuario de Estadística del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente del 2014*, visto el 1 de Julio del 2015. http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistic