

## Monitorización sin contacto del estado hídrico de la vid mediante espectroscopía de THz en el dominio del tiempo (THz-TDS)

L.G. Santesteban<sup>1</sup>, I. Palacios<sup>2</sup>, C. Miranda<sup>1</sup>, J.C. Iriarte<sup>2</sup>, J.B. Royo<sup>1</sup>,  
V. Torres<sup>2</sup> y R. Gonzalo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. Producción Agraria, Universidad Pública de Navarra, Campus Arrosadia, 31006 Pamplona (Navarra) e-mail: [gonzaga.santesteban@unavarra.es](mailto:gonzaga.santesteban@unavarra.es)

<sup>2</sup> Dpto. Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Pública de Navarra, Campus Arrosadia 31006 Pamplona, Navarra

### Resumen

En las últimas décadas se ha generado un notable avance en el desarrollo de métodos que permitan conocer el estado hídrico de las plantas. El objetivo de este trabajo es evaluar la potencialidad de las medidas de reflexión del tronco en la banda de los THz para la estimación del estado hídrico de las plantas, lo que supone un enfoque novedoso, no explorado hasta la fecha. Para ello, se realizó un seguimiento del estado hídrico de una planta de vid mediante dos métodos convencionales (dendrometría y humedad de suelo), observándose que la señal de reflexión en THz-TDS permite detectar perfectamente los ciclos de desecación y la posterior recuperación con el riego. En todo caso, es necesario profundizar en la interpretación de las lecturas, desarrollar sensores *ad hoc* que puedan tener un coste razonable y evaluar la robustez de esta tecnología en condiciones ambientales no controladas para poder valorar su potencial.

Palabras clave: estrés hídrico, sensorización, medidas no destructivas, *Vitis vinifera* L.

### Contactless monitoring of grapevine water status using time-domain THz spectroscopy (THz-TDS)

#### Abstract

In the last decades, there has been a notable interest in developing methods to evaluate plant water status. The aim of this work was to evaluate the potentiality of trunk reflection in the THz range to estimate plant water status non-destructively, which constitutes a totally novel approach. In this experiment, a potted 14-years old grapevine plant was used, and water status measured along watering and dehydration cycles with THz-TDS and with two conventional methods (soil water content and dendrometry). THz-TDS was able to monitor plant water status, as it followed the patterns given by soil water content probe, showing this technique to have a relevant potential in plant water status monitoring that, nevertheless, has to be further evaluated developing *ad hoc* designed devices and testing its performance under non-controlled environmental conditions.

Keywords: water status, non-destructive monitoring, *Vitis vinifera* L.

## INTRODUCCIÓN

La gestión del riego requiere partir de información fiable que nos permita conocer de manera sencilla el estado hídrico de las plantas y, por tanto, estimar sus necesidades. Habitualmente la toma de decisiones de riego se basa en (i) estimar el consumo a partir de datos meteorológicos, o bien en medir (ii) el contenido de agua en el suelo, (iii) el estado hídrico de la planta o (iv) su actividad, siendo las dos últimas fuentes de información las más fiables ya que proceden directamente de la planta.

En las últimas décadas se ha producido un notable avance en el desarrollo de métodos que permiten conocer el estado hídrico de la planta. Por ejemplo, el potencial hídrico, medido con cámara de presión, es considerado como el método de referencia por fisiólogos y agrónomo, ya que proporciona una información relativamente rápida y fácil de interpretar. Desafortunadamente, esta medida es destructiva y no automatizable, por lo que su aplicación a nivel comercial es reducida. Por el contrario, los métodos que son automatizables y no destructivos (p. ej.: flujo de savia, dendrometría) requieren instalaciones relativamente complejas, un mantenimiento experto y frecuentemente los resultados que proporcionan son complejos de interpretar. Por todo lo anterior, existe un gran interés en desarrollar nuevos métodos que permitan estimar de manera asequible y sencilla el estado hídrico de las plantas. En este sentido, la región del espectro electromagnético de los Terahertz (THz) puede ser una fuente de información muy valiosa, dada su elevada sensibilidad a la presencia, poco explorada hasta la fecha. En la última década se han realizado algunos trabajos en plantas con el objetivo de estimar el contenido de agua de hojas in vivo (Breitenstein et al., 2012; Castro-Camus et al., 2013; Born et al., 2014), pero el enfoque de nuestro equipo, en el que las medidas se realizan directamente sobre el tronco presenta, al menos a nivel teórico, grandes ventajas por la capacidad de integración que tiene este órgano y por facilidad de fijación de los sensores que supone.

El objetivo de este trabajo es evaluar la potencialidad de las medidas de reflexión del tronco en la banda de los THz para la estimación del estado hídrico de las plantas

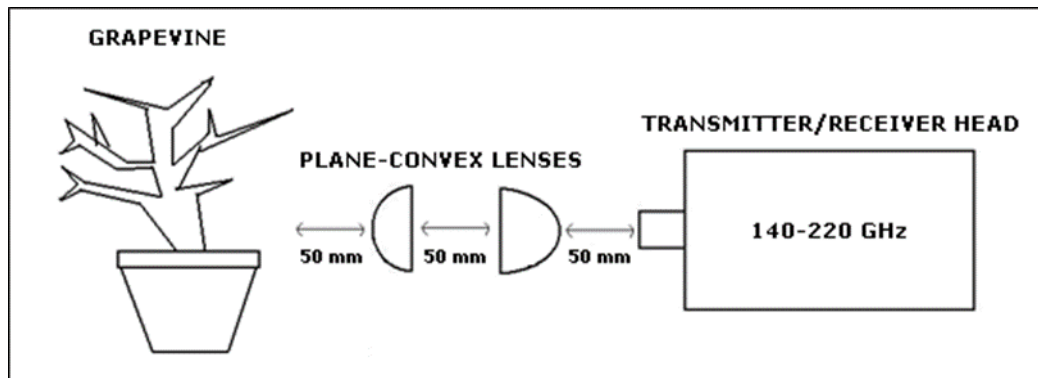
## MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se realizó empleando una cepa de 14 años de la variedad de vid Tempranillo, que había sido arrancada cuidadosamente dos años antes de un viñedo comercial y había sido trasplantada a una maceta de 26 L rellena con una mezcla de turba y arena (2:1) y mantenida convenientemente hasta el inicio de los experimentos. Un mes antes del inicio de los experimentos, para garantizar su aclimatación, la planta se trasladó a un fitotrón en el que las condiciones de iluminación fueron de aproximadamente  $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , el fotoperiodo de 14 h (día) 10 h (noche), y la temperatura se fijó en  $21^\circ\text{C}$  para evitar interferencias sobre las medidas.

Durante un periodo de cinco semanas, se realizó un seguimiento del estado hídrico de la cepa mediante dos métodos convencionales (dendrometría y humedad de suelo), que se compararon con las medidas de reflexión en los THz. Estas medidas se hicieron empleando un analizador de redes (VNA, Agilent E3861C), una cabeza emisora/receptora en el rango de frecuencias entre 140 y 220GHz (OML V05VNA2-TR), y un par de lentes plano-convexas, cuya configuración se ha representado en la Fig. 1. En Santesteban et al. (2014) pueden encontrarse más detalles sobre el dispositivo experimental.

La planta se sometió a cinco periodos de desecación de aproximadamente una semana, al final de los cuales la planta se volvía regar hasta capacidad de campo. Para evaluar el interés

de las medidas de reflexión en THz-TDS, se compararon los dichos valores con las lecturas proporcionadas por la sonda de humedad de suelo y por el dendrómetro.



**Figura 1. Esquema del dispositivo de medida de la reflexión en THz.**

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fig. 2 se representa la evolución a lo largo de las cinco semanas del experimento de la humedad del suelo y del diámetro del tronco, comparados con la señal de reflexión THz-TDS. Se comprueba que la señal de reflexión en THz-TDS permite detectar perfectamente los ciclos de desecación y la posterior recuperación con el riego, siguiendo un patrón muy similar al registrado por las sondas de humedad de suelo. Las medidas del dendrómetro no han sido capaces de mostrar con tanta claridad dichos ciclos, lo que coincide con el hecho ya descrito en la bibliografía de que, a partir de la parada de crecimiento, el comportamiento de los dendrómetros es peor.

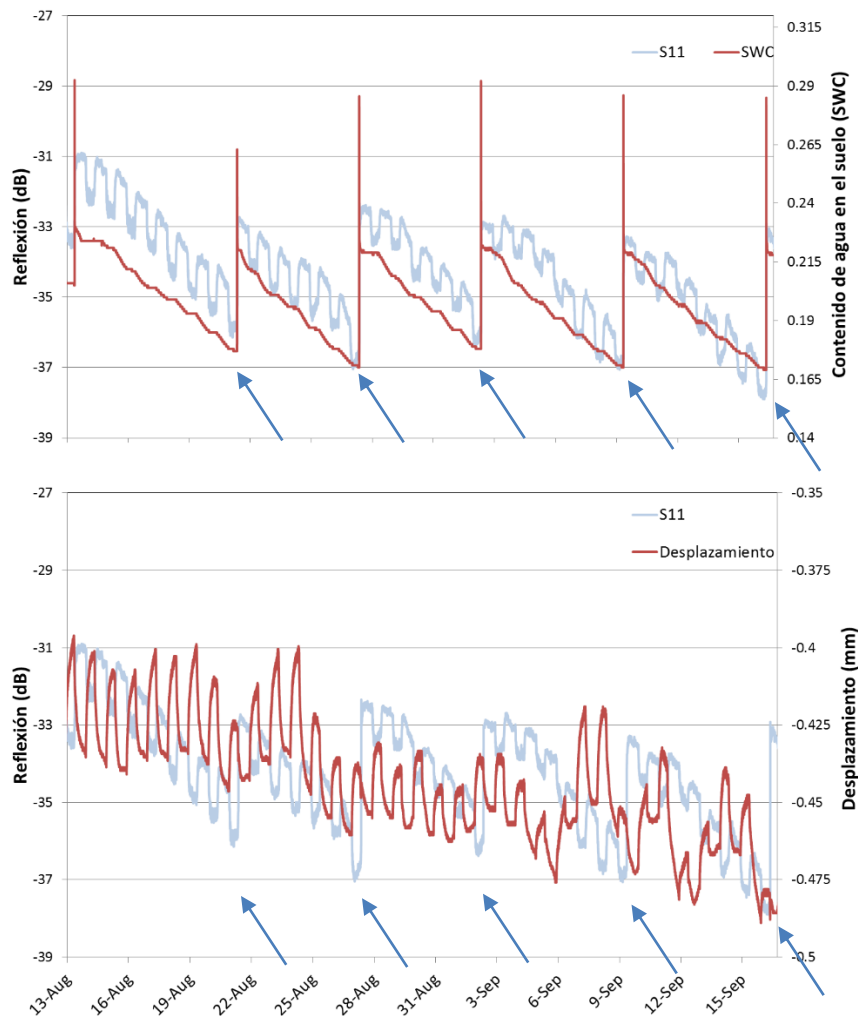
En la respuesta de la señal de reflexión en THz-TDS se observa además una serie de patrones día-noche, que podrían estar relacionados con la actividad hídrica o fotosintética de la planta, lo que podría dar un valor adicional a la información aportada.

## CONCLUSIONES

La medida de la reflexión THz-TDS a nivel de tronco ha mostrado ser una técnica prometedora de cara a medir en tiempo real y sin contacto el estado hídrico de las plantas. Evidentemente, es necesario profundizar en la interpretación de las medidas, desarrollar sensores ad hoc que puedan tener un coste razonable y evaluar la robustez de la técnica en condiciones ambientales no controladas para poder valorar el potencial de esta tecnología.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Departamento de Industria del Gobierno de Navarra (VITICS, Ref: IIM14244.RI1, cofinanciado con fondos FEDER de la Unión Europea) y por el Ministerio de Economía y Competitividad (Proyectos BACAVID, Ref: AGL2011-30408-C04-03 y DIDAcTic, Ref: TEC2013-47753-C3-1-R).



**Figura 2. Comparación de la evolución de la señal de reflexión en THz frente al contenido de agua en el suelo (a) y a las variaciones de diámetro de tronco. Las flechas indican los momentos en los que se realizó un riego.**

## BIBLIOGRAFÍA

- Born, N., Behringer, D., Liepelt, S., Beyer, S., Schwerdtfeger, M., Ziegenhagen, B., et al. 2014. Monitoring plant drought stress response using terahertz time-domain spectroscopy. *Plant Physiol.* 164: 1571–1577.
- Breitenstein, B., Scheller, M., Shakfa, M. K., Kinder, T., Müller-Wirts, T., Koch, M., et al. 2012. Introducing terahertz technology into plant biology: a novel method to monitor changes in leaf water status. *J. Appl. Bot. Food Qual.* 84, 158.
- Castro-Camus, E., Palomar, M., and Covarrubias, A. A. 2013. Leaf water dynamics of *A. thaliana* monitored in-vivo using terahertz time-domain spectroscopy. *Sci. Rep.* 3: 2910.
- Santesteban, L. G., Palacios, I., Miranda, C., Iriarte, J. C., Royo, J. B., and Gonzalo, R. 2015. Terahertz time domain spectroscopy allows contactless monitoring of grapevine water status. *Frontiers in Plant Sci.*, 6: 404.