

Neurofisiología vegetal

# Aplicaciones para determinar **estrés** en frutales

Luis A. Gurovich <sup>1</sup> / lgurovich@uc.cl  
Macarena Cano <sup>2</sup> / macano@uc.cl

¿Cómo y dónde perciben las plantas los numerosos estímulos bióticos y abióticos del medio ambiente que las rodea?  
¿Cómo procesan esa información y cómo la transmiten a sus diversos órganos y tejidos? ¿Cuáles son los mecanismos de transmisión de las respuestas fisiológicas a estos estímulos que se generan y manifiestan en otros órganos ubicados, muchas veces, a distancias considerables en la planta?  
Las respuestas: ellas mismas. Las plantas son organismos inteligentes y sociales.

<sup>1</sup> Docente del Departamento Fruticultura y Enología  
<sup>2</sup> Macarena Cano, Egresada Residente



Setup experimental en la jaula Faraday

Hace ya mucho tiempo que sabemos que las plantas son seres vivos, pero hasta hace menos de 10 años no se había descubierto que su respuesta fisiológica es de una velocidad e intensidad equivalente a la que presentan los organismos animales y que incluso ésta puede ser detectada en forma de impulso eléctrico (potencial de acción y potencial de variación). El estudio de estas señales de comunicación es lo que conocemos como la neurofisiología de las plantas, una nueva disciplina emergente de la fisiología vegetal que se basa en una gran variedad de instrumentos cuyo objetivo es relacionar los efectos del entorno sobre su comportamiento.

Gracias a ella, hoy es posible comprender a las plantas en una dimensión holística moderna, como organismos inteligentes y sociales, con complejas formas de comunicación y de procesamiento de la información captada desde el medio ambiente (Trewavas, 2003).

### Cómo operan las mediciones eléctricas en las plantas

Para determinar el actuar de las plantas, es necesario realizar algunas pruebas eléctricas. La forma de reali-

zar dicha medición, es a través de la instalación de pequeños electrodos que consisten en diminutas agujas rellenas con una solución de 1M KCl y dentro de la cual se inserta un alambre de plata, previamente clorado en una solución de 0.1 N HCl para obtener una combinación Ag/AgCl (Volkov y Ranatunga, 2006; Fromm y Lautner, 2007).

Estos electrodos son insertos en diferentes tejidos a lo largo de toda la planta, desde la raíz hasta los frutos (Figura 1) y son conectados a un multímetro de voltaje de operación continua (Figura 2). El objetivo de estas determinaciones es medir las diferencias de potencial que se van generando a lo largo de la planta y poder determinar así como viaja el impulso o señal eléctrica interna hacia la base o ápice de la planta (dependiendo del lugar de origen del estímulo), donde se generará una respuesta fisiológica característica para la condición a la cual está siendo expuesta.

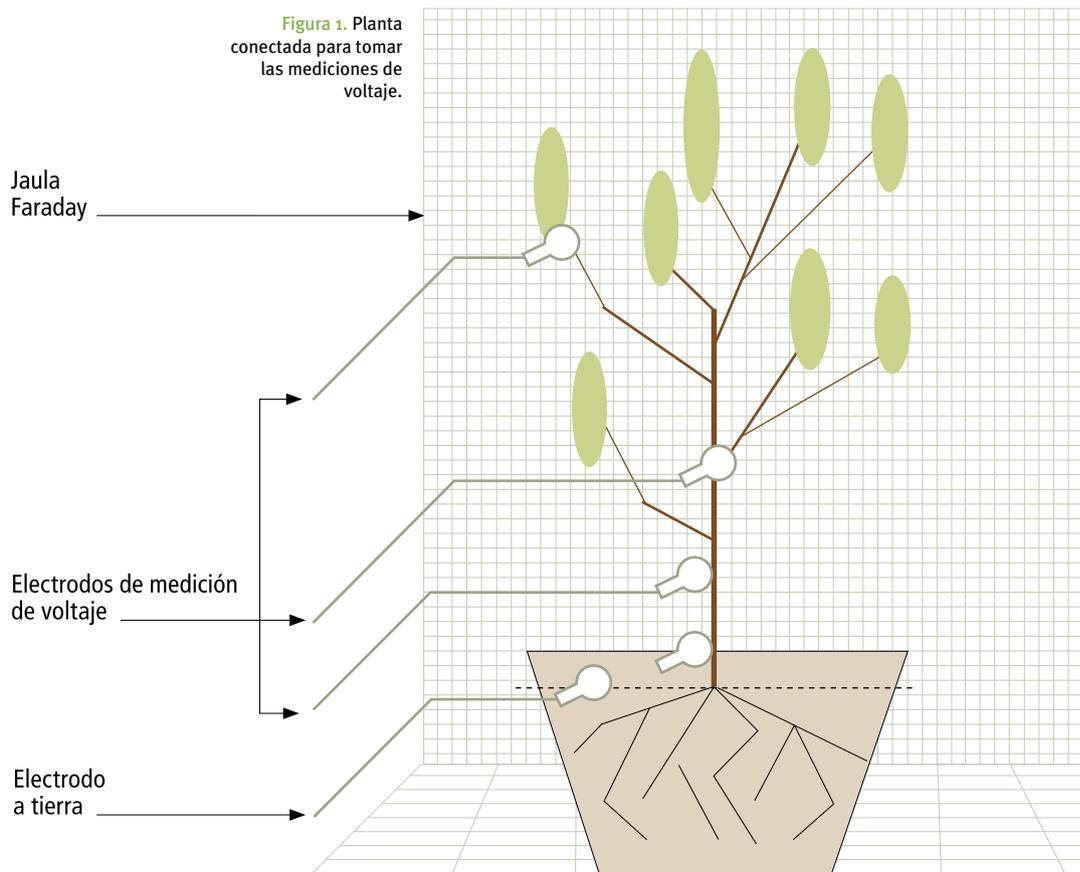
Esta respuesta fisiológica genera también un nuevo impulso eléctrico que viaja a otros órganos de la planta y puede ser detectada por los mismos

electrodos. Es necesario que las mediciones se realicen en una jaula Faraday cuyo objetivo es evitar la interferencia de cualquier otro tipo de señal eléctrica y/o electromagnética cercana a las plantas en observación. Esto debido a que los impulsos eléctricos detectados en la planta son de muy baja intensidad y duración.

### El fitomonitorio

Este nuevo avance tecnológico realiza mediciones que se correlacionan con la dinámica de los parámetros micro-meteorológicos, como temperatura y humedad relativa del aire, velocidad y dirección del viento, radiación solar efectiva y evapotranspiración potencial. Gracias a él, se ha podido detectar respuestas muy rápidas de la planta, frente a cambios precisos y de diversas magnitudes en su entorno.

Por ejemplo, estudios recientes han relacionado cuantitativamente cambios de voltaje (en el rango de mV) entre la raíz y la hoja de una planta leñosa y asociar éstos a cambios en el contenido hídrico del suelo (Gil et al. 2008, Mancuso, 1999), así como a modifi-



caciones de la intensidad luminosa (Gurovich y Hermosilla, 2008) a modificaciones en la disponibilidad de nutrientes y a heridas provocadas por deshojes y desbrotes, a los cuales son sometidos los árboles en condiciones controladas.

Los sensores de voltaje electrónico en las plantas también han servido para detectar condiciones de estrés, permitiendo incrementar la productividad de los cultivos en forma muy significativa, principalmente por la obtención de una mayor proporción de frutos de gran diámetro (Gurovich et al., 2006).

Para fines de esta investigación, se midió en forma continua los diferenciales de potencial eléctrico generados por la planta como respuesta a distintos estímulos medioambientales. Se utilizaron diversas especies frutales, tales como olivos (*Olea europaea*), paltos (*Persea americana*), cerezos (*Prunus avium*), naranjos (*Citrus sinensis*), limoneros (*Citrus limon*), arándanos (*Vaccinium corymbosum*) y durazneros (*Prunus persica*).

### Plantas como entes generadores de respuestas

Mediante la aplicación de los electrodos se logró estudiar una serie de posibles relaciones entre distintos estímulos y las respuestas fisiológicas en las plantas. Se evaluó la respuesta eléctrica frente a estímulos de luz (luz - oscuridad), cortes de poda, aplicación de fertilizantes y agroquímicos, así como ataques de insectos y hongos, midiendo las fluctuaciones del potencial eléctrico. El objetivo fue utilizar este sistema como un sensor de detección temprana de condiciones de estrés en las plantas.

En el Gráfico 1 se presentan algunos resultados obtenidos en las instalaciones de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal de la Universidad Católica de Chile, referidos a los cambios en los potenciales eléctricos en plantas leñosas, resultantes de modificaciones en las condiciones de luminosidad.

Cada uno de los períodos de luz a los cuales fue sometida la planta tuvo una duración de 30 minutos, utilizando una

batería de tubos fluorescentes de intensidad fija, seguidos por intervalos de 30 minutos de oscuridad total. La caída en el potencial eléctrico al incidir la luz sobre las hojas, después de un período de oscuridad total es sistemática y prácticamente instantánea, afectando a todos los órganos en forma casi simultánea.

Mediciones en el rango de nano – segundos indican que el cambio de potencial eléctrico es progresivo desde la hoja hacia la raíz, pasando por los brotes, el tronco y el portainjerto.

La intensidad en la disminución del voltaje y su posterior recuperación después de la exposición a la luz son diferentes en magnitud en cada órgano de la planta.

En el Gráfico 2 se presenta la respuesta de un árbol de Naranja (*Citrus sinensis*) a dos eventos de riego, efectuados después de 15 días sin riego. Ambos eventos estuvieron separados por 45 minutos, con la aplicación de 1 L de agua en cada oportunidad, en una maceta de 20 L. Se aprecia que la respuesta a cada una de las aplicaciones de agua

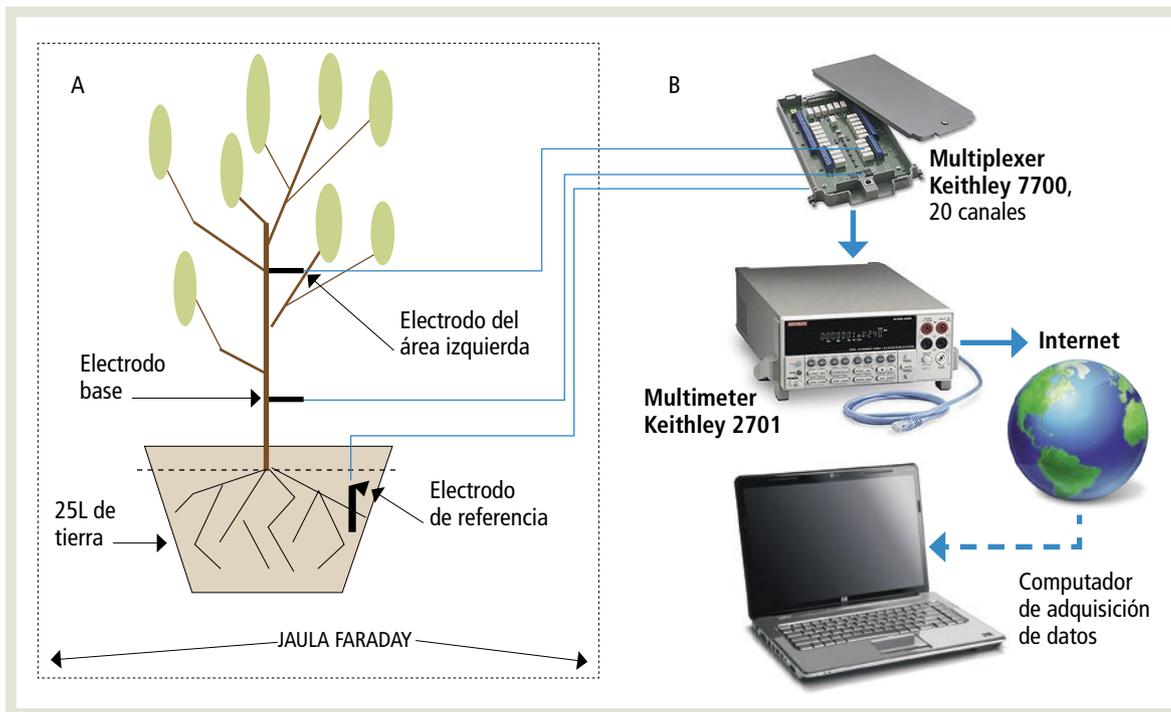


Figura 2. Esquema de conexión de la planta al multímetro y luego al PC, lo cual permite la toma de datos de los diferenciales de potencial eléctrico que son medidos para el estudio (Gurovich y Hermosilla, 2008).

corresponde a un potencial de acción, seguido por un potencial de variación y que en el lapso entre ambos eventos, no se alcanza a recuperar totalmente el potencial eléctrico previo.

En el Gráfico 3 se presenta la respuesta de un Limonero (*Citrus limón*) al corte de poda realizado en una de las ramas. Se puede ver que un primer efecto de respuesta es detectada por el electrodo colocado inmediatamente bajo la zona de corte (-1) y es seguido por el electrodo colocado a 5mm más abajo del anterior (-2), diferencia que podría ser más evidente si se trabajara en un rango menor de tiempo.

A partir de los datos mostrados se puede decir que hay una respuesta al estímulo de corte y que la planta es capaz de detectarlo y generar una respuesta, la que tiende a viajar en dirección hacia la raíz. En estos momentos se sigue trabajando en este tema con el fin de poder encontrar un patrón común para el estímulo y poder así llegar a una respuesta que se pueda ampliar al resto de las plantas.

El objetivo final de estos trabajos es desarrollar un instrumento para evaluar, en tiempo real y monitoreo continuo, la respuesta eléctrica de las plantas en condiciones de campo. Con esto se busca determinar situaciones e intensidades de estrés en plantas frutales leñosas, para modificar diferentes condiciones micro-ambientales en forma oportuna, maximizando la productividad y calidad de los frutos en nuestro país. af



Jaula Faraday para mediciones de potencial eléctrico en las plantas.

Electrodo Ag/AgCl diseñado para las mediciones continuas de potencial eléctrico en las plantas.

Luz y oscuridad en olivo (*Olea europea*)

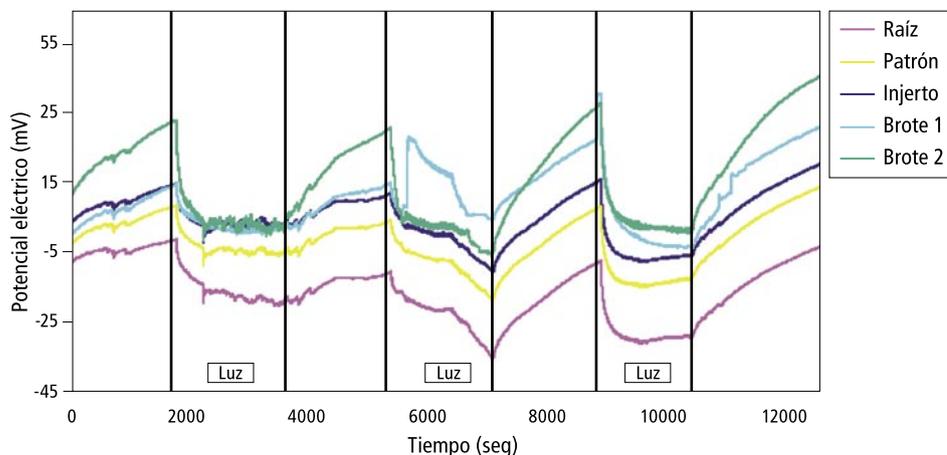


Gráfico 1. Cambios en el potencial eléctrico en ciclos alternados de luz y oscuridad en una planta de Olivo (*Olea europea*) (Mediciones cada 1 s).

Potenciales eléctricos detectados en las plantas

El estímulo eléctrico produce cambios en el potencial de membrana de las células que componen la planta, lo que implica una depolarización seguida por una repolarización de la misma (Stahlberg et al., 2006), lo que se relaciona con un flujo positivo de calcio citoplasmático (Schroeder et al., 2001).

Un aumento de las concentraciones de calcio citoplasmático provoca una alcalinización del citosol, lo que a su vez favorece la actividad de los canales de flujo de entrada de potasio en la membrana plasmática y una apertura a los canales de salida de cloro, causando la depolarización. Esto activa los canales de salida de potasio en la membrana plasmática (Taiz y Zeiger, 2006).

Riego en Naranja (*Citrus sinensis*)

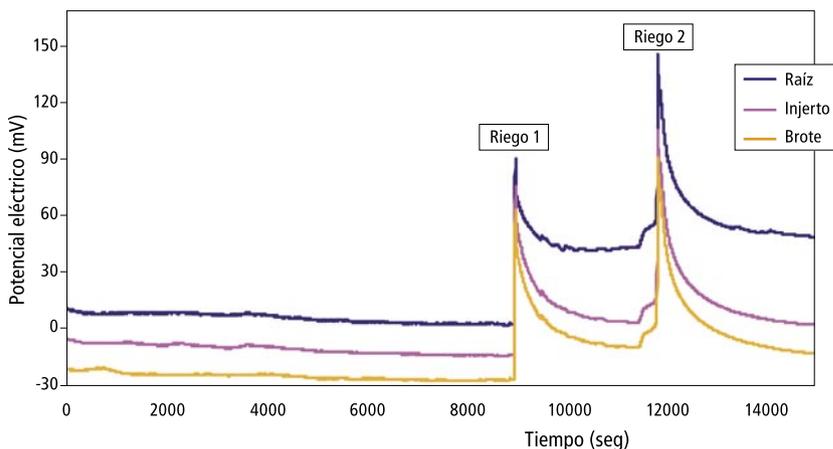


Gráfico 2. Cambios en el potencial eléctrico en una planta de Naranja (*Citrus sinensis*), después de dos eventos consecutivos de riego (Mediciones cada 5 s).

Corte de poda en limonero (*Citrus limón*)

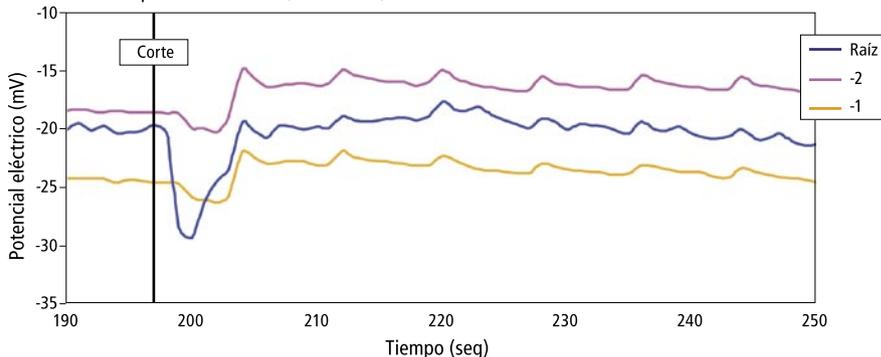


Gráfico 3. Cambios en el potencial eléctrico en un Limonero (*Citrus limón*), al momento de un corte de poda. Las curvas -2 y -1 indican la posición de dos electrodos colocados en la zona bajo el corte de poda, donde -2 corresponde al electrodo más alejado y -1 al electrodo más cercano a la zona del corte (Mediciones cada 1 s).