



Foto: Nicolás Zunini

Medición de nutrientes a campo.

# MONITOREO DE NUTRIENTES PARA LA ASISTENCIA A LA FERTIRRIGACIÓN A NIVEL DE PREDIOS

Dr. Rafael Grasso, Dra. Cecilia Berrueta,  
Dr. Gustavo Giménez

Programa de Investigación en Producción Hortícola

Los sistemas de monitorización de nutrientes a campo son herramientas de gran potencial para la toma de decisiones en fertirrigación. Este artículo presenta los resultados de la evaluación de dos sistemas de análisis rápidos para la determinación de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{++}$  en soluciones de fertirrigación.

## INTRODUCCIÓN

En general, en los sistemas intensivos, el manejo de los nutrientes se basa en la experiencia de técnicos y productores (Thompson *et al.*, 2007). En la mayoría de los casos no se utiliza ningún sistema de monitorización de nutrientes. Esto puede ocasionar aplicaciones deficientes o excesivas. Los excesos de fertilización provocan problemas de contaminación y desequilibrios nutricionales (Padilla *et al.*, 2018). El manejo de la nutrición se vuelve muy complejo en la práctica, ya que las demandas de los cultivos no son fijas, varían

año a año, estando afectadas por el ambiente (suelo y clima), fechas de plantación y las variedades. Los análisis de laboratorio para medir nutrientes como  $\text{NO}_3^-$  (nitrato),  $\text{NH}_4^+$  (amonio),  $\text{K}^+$  (potasio),  $\text{PO}_4^-$  (fosfato),  $\text{Ca}^{++}$  (calcio), etc., en suelo, agua o planta, proporcionan datos altamente confiables, sin embargo, deben ser utilizados de manera estratégica debido a su costo y tiempo de recepción (Thompson *et al.*, 2009). La dinámica acelerada de los cultivos hortícolas requiere de la toma de decisiones semanales. Los sistemas de análisis rápidos podrían ofrecer una alternativa, ya que son relativamente baratos, rápidos y fáciles de utilizar.

Además, permiten realizar medidas directamente en el campo, lo que ayuda a técnicos y productores a la toma de decisiones (Maggini *et al.*, 2010). Estos medidores deben ser precisos y de calibración sencilla (Thompson *et al.*, 2007). El rango de medida debe ser lo suficientemente amplio para medir soluciones nutritivas (SN), soluciones de suelo (SS), drenajes (DR), savia (SV) y agua de riego (AR).

La gestión de la nutrición tiene un amplio margen de mejora. En la mayoría de los casos es posible disminuir las aplicaciones de fertilizantes y distribuir mejor el aporte a lo largo del ciclo. Con el objetivo de contribuir a la mejora de la fertirrigación se evaluaron dos sistemas de análisis rápidos, el LAQUATwin de la marca Horiba (Japón) y el IMACIMUS de la marca NT-Sensors (España). Se determinó la concentración de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{++}$  en SN. Estas determinaciones fueron comparadas con las medidas del laboratorio para evaluar la precisión de estos equipos.

## SISTEMAS DE ANÁLISIS RÁPIDOS EVALUADOS

### LAQUATwin de Horiba

Los ionómetros LAQUATwin son equipos de bolsillo de fácil uso y calibración en dos puntos. La medida en cada electrodo individual tarda menos de un minuto y se necesita un volumen reducido de muestra (0,3 ml mínimo). En esta oportunidad se utilizaron los electrodos de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{++}$ , pero también hay



**Figura 1** - A) Sensores LAQUATwin; B) Medidas de nutrientes en predios.



**Figura 2** - A) Sensor IMACIMUS; B) Medición de solución con IMACIMUS.

disponibles de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ . Para analizar con LAQUATwin no es necesario preparar las muestras ni añadir reactivos.

### IMACIMUS de NT-Sensors

El sensor IMACIMUS presenta el mismo principio de funcionamiento que LAQUATwin (Figura 2). En este caso, también se realizaron determinaciones para  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{++}$  en SN. Asimismo, es posible determinar  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{NH}_4^+$ . En este instrumento las medidas son simultáneas, resultando más rápida que LAQUATwin. El medidor IMACIMUS debe estar conectado a una computadora o tablet, en la que se registran las medidas. La calibración y funcionamiento del equipo es más engorrosa que LAQUATwin.

## APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ANÁLISIS (LAQUATWIN E IMACIMUS) A NIVEL PREDIAL

### Análisis del agua de riego y soluciones nutritivas o de fertirrigación

En AR se puede medir el contenido de nutrientes y descontar al aporte de fertilizantes. Además, chequear las SN (agua de riego más fertilizantes y ácidos) de los goteros (Figura 3).

La no utilización de sistemas de monitorización de nutrientes puede ocasionar aplicaciones de nutrientes deficientes o excesivas. Los excesos de fertilización provocan problemas de contaminación y desequilibrios nutricionales.

En estas soluciones se determina contenido de  $\text{NO}_3^-$ ;  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{NH}_4^+$ , además de pH y CE (conductividad eléctrica).

### Análisis de soluciones de suelo

El muestreo de la SS (solución acuosa en contacto directo con las raíces) se realiza mediante sondas de succión (Figura 4). En este tipo de solución se determinan los mismos parámetros detallados en AR y SN.

### Análisis de savia

El análisis de SV (jugo apoplástico) es una técnica que permite medir el contenido de nutrientes en la planta (Figura 5). Es posible extraer directamente la savia en el campo estrujando los pecíolos (procedimiento detallado en Hochmuth (2012)). En la SV se determina el contenido de nutrientes como  $\text{NO}_3^-$ ;  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{NH}_4^+$ .

### Análisis de drenajes en hidroponía

En cultivos en maceta o en NFT, se pueden analizar los drenajes para determinar los mismos parámetros que en AR y SN (Figura 6). Es posible comparar los valores de SN con el drenaje y realizar ajustes en la fertirrigación.



Figura 3 - Gotero de control para la colecta de SN.

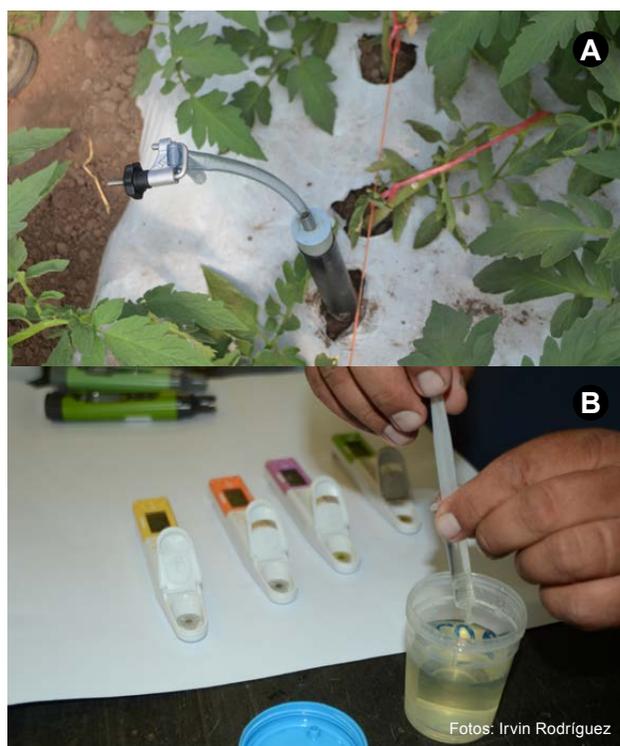


Figura 4 - A) Sonda de succión de SS; B) Medición nutrientes en SS con LAQUAtwin.

### ¿SON CONFIABLES LOS RESULTADOS DE LOS SISTEMAS DE ANÁLISIS RÁPIDO?

Para comprobar la exactitud de los equipos se realizaron diversas medidas con LAQUAtwin e IMACIMUS para los iones  $\text{NO}_3^-$ ;  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{++}$  en SN. Los resultados fueron contrastados con análisis en laboratorio, donde se calcularon regresiones lineales ( $R^2$ ) para valorar la exactitud.

Para las muestras de SN se obtuvo una buena relación entre la concentración de nitratos [ $\text{NO}_3^-$ ] medida con LAQUAtwin y laboratorio, con un  $R^2=0,94$  y una pendiente cercana a 1 (Figura 7a).

Para las mismas muestras medidas con IMACIMUS, la relación de las medidas para [ $\text{NO}_3^-$ ] tuvo una relación inferior, con un  $R^2=0,78$  y una pendiente de 0,84 (Figura 7b).

Para las muestras de SN se obtuvo una buena relación entre la concentración de potasio [ $\text{K}^+$ ] medida con LAQUAtwin y laboratorio alcanzando un  $R^2=0,81$ , con una pendiente cercana a 1 (Figura 8a). La relación de [ $\text{K}^+$ ] medida con IMACIMUS y laboratorio es muy similar, con  $R^2=0,82$ , la pendiente se encuentra por debajo de 1 lo que muestra una leve tendencia a la subestimación (Figura 8b).

Para muestras de SN recogidas se obtuvo una buena relación entre la concentración de calcio [ $\text{Ca}^{++}$ ] medida

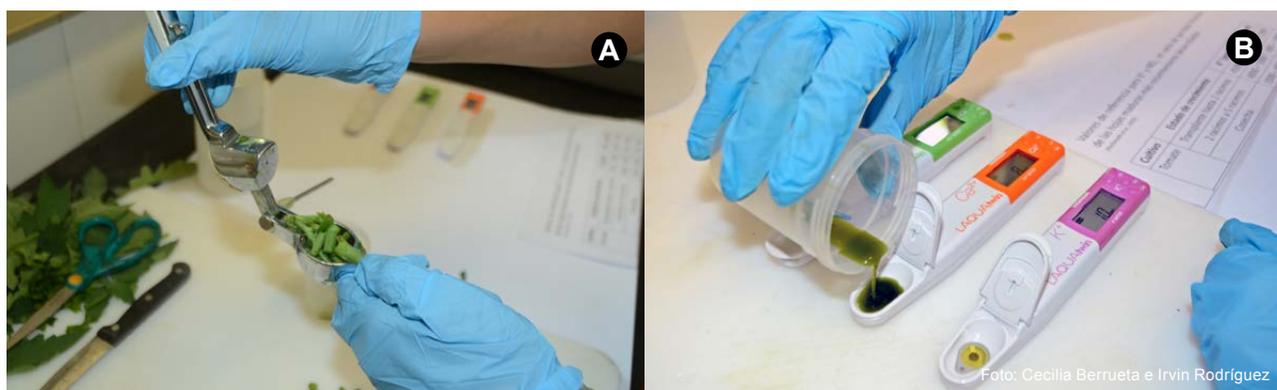


Figura 5 - A) Extracción de la savia; B) Colocación de muestra de savia en LAQUAtwin.

con LAQUAtwin y laboratorio, donde el valor de  $R^2=0.83$ , la pendiente se encuentra levemente por encima de 1 (Figura 9a). Para IMACIMUS y laboratorio se encontró una relación algo inferior para la  $[Ca^{++}]$ , con un  $R^2=0.79$  y una pendiente cercana a 1 (Figura 9b).

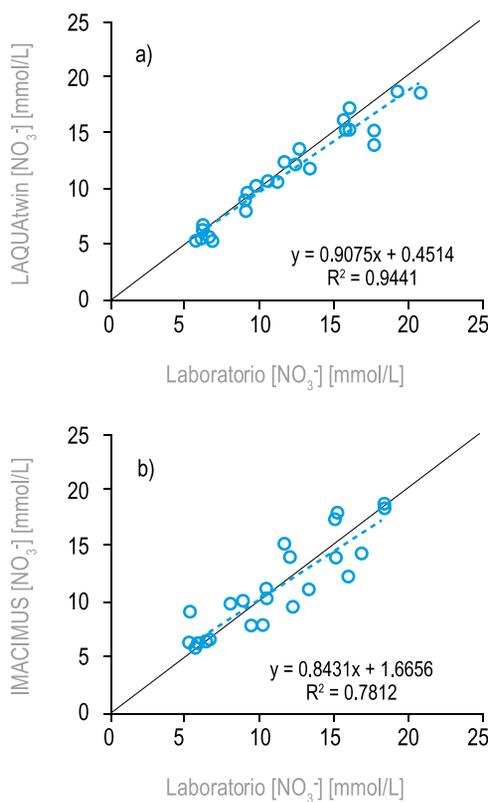
**CONSIDERACIONES PRÁCTICAS PARA OBTENER RESULTADOS CONFIABLES A CAMPO SEGÚN TIPO DE MUESTRA**

- Calibrar los equipos antes de realizar las mediciones.
- Verificar la temperatura de la solución, se logra mayor precisión en el rango 20-25°C (Grasso *et al.*, 2018).
- Para las mediciones en savia seguir cuidadosamente el protocolo de Hochmuth (2012).

La dinámica acelerada de los cultivos hortícolas requiere de la toma de decisiones semanales. Los sistemas de análisis rápidos ofrecen una alternativa, ya que son relativamente baratos, rápidos y fáciles de utilizar.

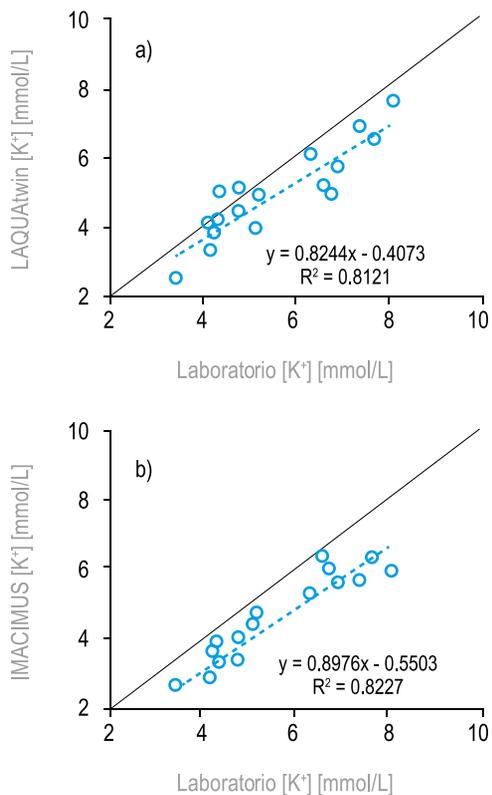


Figura 6 - Colecta de drenaje de macetas para posteriores mediciones.



(Grasso *et al* 2018)

Figura 7 - Medida de la  $[NO_3^-]$  en solución nutritiva: a) medido con LAQUAtwin; b) medido con IMACIMUS. Ambos contrastados con laboratorio.



(Grasso et al 2018)

**Figura 8** - Medida de la [K<sup>+</sup>] en solución nutritiva: a) medida con LAQUAtwin; b) medida con IMACIMUS. Ambos contrastados con laboratorio.

- Realizar la correcta limpieza de los equipos con abundante agua destilada y secar con papel absorbente.
- Chequear los equipos con un laboratorio de referencia con frecuencia anual o bianual.

Lograr ajustar la fertilización a la demanda variable que tienen los cultivos según el rendimiento alcanzado, el aporte del suelo y las condiciones ambientales es un desafío. El monitoreo de nutrientes a campo con sistemas de análisis rápido puede contribuir a mejorar la gestión del fertirriego, evitando excesos que aumentan los costos y generan problemas ambientales.

Los medidores estudiados demuestran ser precisos y permiten medir distintos tipos de soluciones, LAQUAtwin resulta más adecuado para mediciones a campo.

**BIBLIOGRAFÍA**

Grasso, R., Peña-Fleitas, M.T., Thompson, R.B., 2018. Evaluación de dos sistemas de análisis rápido para la determinación de la concentración de varios nutrientes en solución nutritiva y en solución de suelo. <http://repositorio.ual.es/handle/10835/7055>. Universidad de Almería.

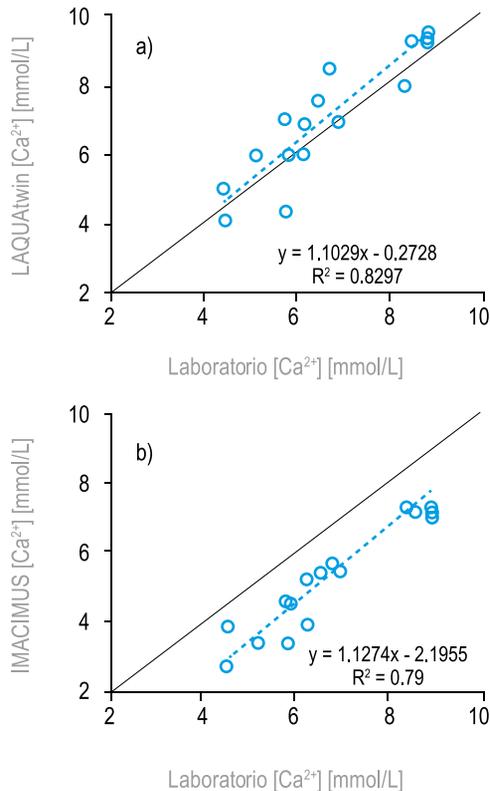
Hochmuth, G., 2012. Plant Petiole Sap-Testing For Vegetable Crops 1 Sap-Testing 3, 1–5.

Maggini, R., Carmassi, G., Incrocci, L., Pardossi, A., 2010. Evaluation of quick test kits for the determination of nitrate, ammonium and phosphate in soil and in hydroponic nutrient solutions. *Agrochimica* 54, 331–341.

Padilla, F.M., Gallardo, M., Manzano-Agugliaro, F., 2018. Global trends in nitrate leaching research in the 1960–2017 period. *Sci. Total Environ.* 643, 400–413. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.215>

Thompson, R.B., Gallardo, M., Joya, M., Segovia, C., Martínez-Gaitán, C., Granados, M.R., 2009. Evaluation of rapid analysis systems for on-farm nitrate analysis in vegetable cropping. *Spanish J. Agric. Res.* 7, 200–211. <https://doi.org/10.5424/sjar/2009071-412>

Thompson, R.B., Martínez-Gaitán, C., Gallardo, M., Giménez, C., Fernández, M.D., 2007. Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey. *Agric. Water Manag.* 89, 261–274. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.01.013>



(Grasso et al 2018)

**Figura 9** - Medida de la [Ca<sup>++</sup>] en solución nutritiva: a) medida con LAQUAtwin b) medida con IMACIMUS. Ambos contrastados con laboratorio.