



Foto: Irvin Rodríguez

# ANÁLISIS DE SOLUCIÓN DE SUELO CON SONDAS DE SUCCIÓN PARA EL MONITOREO DEL FERTIRRIEGO EN TIEMPO REAL

Dra. Cecilia Berrueta<sup>1</sup>,  
Dr. Rafael Grasso<sup>2</sup>,  
Dr. Gustavo Giménez<sup>1</sup>,  
Téc. Granjero Marcelo Falero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Investigación en Producción Hortícola - INIA Las Brujas

<sup>2</sup>Programa de Investigación en Producción Hortícola - INIA Salto Grande

El monitoreo de nutrientes durante el transcurso del cultivo es una herramienta muy valiosa para ajustar los planes de fertilización y realizar correcciones cuando es necesario. Apuntando a una mejora considerable en el rendimiento y calidad de los frutos mediante el monitoreo del fertirriego, en este artículo se presentan resultados de INIA para el cultivo de tomate.

## INTRODUCCIÓN

Las sondas de succión de solución de suelo combinadas con los sistemas de análisis rápido constituyen una eficaz herramienta para monitorear la concentración de nutrientes en la solución de suelo. De esta forma, permiten corregir el plan de fertilización, de acuerdo a la evolución de cada nutriente en el suelo; y así evitar deficiencias o excesos de nutrientes.

El análisis periódico de la solución del suelo, combinado con el análisis de nutrientes en savia (Berrueta *et al.*, 2021<sup>\*</sup>) y el monitoreo de la solución de fertirriego (Grasso *et al.*, 2021<sup>\*\*</sup>), se convierten en una alternativa para realizar un manejo racional de la nutrición y obtener los mejores resultados productivos. La transición desde el modelo predominante, basado en planes de fertilización teóricos sin mediciones durante los cultivos, hacia un manejo basado en el monitoreo

<sup>\*</sup>Análisis de savia para la determinación rápida del nivel de potasio, nitrato y calcio en el campo. Hortifruticultura. Revista INIA N° 67, Diciembre 2021.

Acceda **AQUÍ**



<sup>\*\*</sup>Monitoreo de nutrientes para la asistencia a la fertirrigación a nivel de predios. Revista INIA N° 66, Setiembre 2021.

Acceda **AQUÍ**



periódico de los nutrientes en las plantas y el suelo, significará una mejora considerable en el rendimiento y calidad de los frutos. Este cambio permitirá un uso más eficiente de los fertilizantes tanto químicos como orgánicos, provocando un menor impacto ambiental y una reducción de los costos de producción.

### ¿CÓMO SE REALIZA LA MEDICIÓN DE NUTRIENTES EN LA SOLUCIÓN DE SUELO?

Para realizar el monitoreo se debe contar con al menos dos sondas de succión de suelo por invernáculo de 1000 m<sup>2</sup>. Las sondas deben instalarse a la profundidad de suelo donde se encuentra la mayor parte de las raíces, para el caso del cultivo de tomate entre 20 - 25 cm. En el Cuadro

1 se describe el procedimiento para la obtención de las muestras de solución de suelo y posterior análisis.

### NIVELES DE POTASIO, NITRATO Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN SOLUCIÓN DE SUELO DE CULTIVOS DE TOMATE

Durante cuatro ciclos de tomate en invernáculo (otoño 2019, primavera 2019, otoño 2020 y otoño 2021) se midieron los niveles de conductividad eléctrica, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y K<sup>+</sup> en la solución del suelo. La solución del suelo proveniente de 12 parcelas experimentales de 20 m<sup>2</sup> se obtuvo con 12 sondas de succión de la marca SDEC (Francia) modelo SPS23531 de 35 cm de largo colocadas a una profundidad de suelo de 20 cm.

**Cuadro 1** - Procedimiento para la obtención de las muestras de solución de suelo y posterior análisis.



#### 1 - APLICACIÓN DEL VACÍO A LA SONDA

- Se utiliza una bomba para generar vacío en el tubo de la sonda (70 - 80 cbar).
- Se debe alejar la aplicación de vacío de 2 a 4 horas del riego anterior.



#### 2 - EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

- Antes del siguiente riego, se libera el vacío retirando el tapón y se extrae la solución del tubo con una jeringa.
- Las muestras se pueden medir en el momento o guardarlas refrigeradas hasta la medición.



#### 3 - CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES

- El sensor LAQUAtwin se calibra antes de comenzar a medir con dos soluciones estándar (150 y 2000 ppm).
- Es recomendable repetir la calibración si se analizan más de 10 muestras.



#### MEDICIÓN DE NUTRIENTES, pH y CONDUCTIVIDAD

- Atemperar las muestras antes de medir. La temperatura debe estar en el entorno de 20°C.
- Agitar el vaso con la muestra.
- Colocar la muestra en el receptáculo hasta cubrir el sensor y luego de unos segundos se registra la medida.
- Entre muestra y muestra se debe lavar el receptáculo del sensor con abundante agua destilada y secar con papel absorbente.
- Luego se mide la conductividad eléctrica y el pH colocando los sensores en el vaso de la muestra.

Fotos: Irvin Rodríguez

Video donde se muestra cómo se instalan las sondas en el suelo

Acceda **AQUÍ**

Video que incluye el proceso de extracción de muestras de solución de suelo

Acceda **AQUÍ**



Se deben utilizar al menos dos sondas de succión de suelo por invernáculo de 1000 m<sup>2</sup>. En el cultivo de tomate, las sondas deben instalarse a una profundidad entre 20 - 25 cm.

Los tomates de las variedades Elpida y Lapataia se cultivaron en el módulo de cultivos protegidos de INIA Las Brujas en un invernáculo de 870 m<sup>2</sup> (60 m largo y 14,5 m ancho y 4,5 m a la cumbre).



Las plantas de tomate se distanciaron 0,2 m en la hilera y la densidad fue de 2,66 plantas por m<sup>2</sup>. El riego se realizó de forma de mantener el potencial de matriz del suelo alrededor de -10 kPa usando tensiómetros ubicados en la fila de plantas (a 10 cm de las plantas y 8 cm de la cinta de riego) a 18 cm de profundidad. El sistema de riego contó con doble cinta por cantero con goteros antidrenantes y autocompensantes de 1 l/h a 20 cm. Se fertirrigó con una solución nutritiva balanceada diseñada para cada etapa fenológica del cultivo, considerando la absorción según el rendimiento esperado, el consumo estimado de agua, el aporte del suelo y el aporte de nutrientes del agua de riego. Se ajustó el pH de la solución hasta alcanzar valores entre 5,8 y 6,2. Se realizaron desbrotes semanales y un único deshoje por debajo del primer racimo al comienzo de la maduración de los frutos. Finalmente, las plantas se caparon después del séptimo racimo.

**Figura 1** - A) Sonda de succión colocada entre medio de las plantas a 20 cm de profundidad. B) Detalle de la sonda marca SDEC (Francia) y elementos necesarios para realizar la succión de la solución de suelo (bomba de vacío y jeringa).

En los Cuadros 2 y 3 se resume la información de los cuatro ciclos de tomate en los que se realizaron las determinaciones.

**Cuadro 2** - Variedad, fecha de trasplante, largo del ciclo y días a inicio de cosecha según ciclo de tomate.

Ciclo	Variedad	Fecha de trasplante	Días a inicio de cosecha	Largo del ciclo (días)
Otoño 2019	Elpida	6/2/2019	82	187
Primavera 2019	Lapataia	22/8/2019	99	154
Otoño 2020	Elpida	10/2/2020	85	190
Otoño 2021	Elpida	1/2/2021	77	182

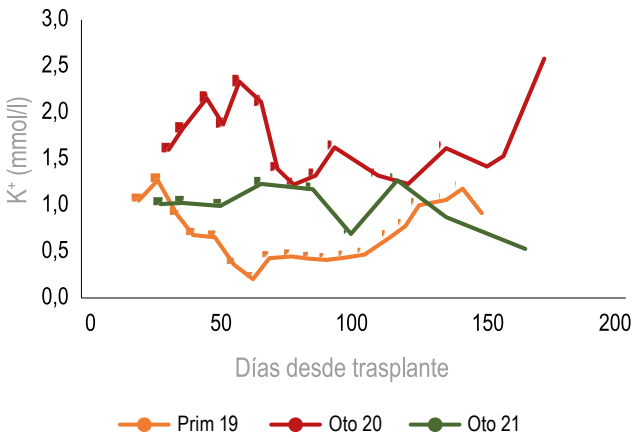
**Cuadro 3** - Rendimiento, aporte de nitrógeno (N) y potasio (K<sup>+</sup>) según ciclo de tomate.

Ciclo	Rendimiento total (kg/m <sup>2</sup> )	Aporte de N (kg/ha)	Aporte de K <sup>+</sup> (kg/ha)
Otoño 2019	19,2	116,5	705,5
Primavera 2019	20,7	141,1	855,1
Otoño 2020	15,2	148,3	434,7
Otoño 2021	14,9	149,3	479,2

Los rendimientos obtenidos junto a los niveles totales de nutrientes aportados por el fertirriego (sin tomar en cuenta el suelo y agua) se resumen en el Cuadro 3.

**Potasio**

Los valores de K<sup>+</sup> medidos en la solución de suelo a lo largo del ciclo de crecimiento del tomate se presentan en la Figura 2. El valor mínimo medido fue de 0,2 a un máximo de 2,6 mmol/l de K<sup>+</sup>. El valor promedio fue de 1,1 mmol/l.



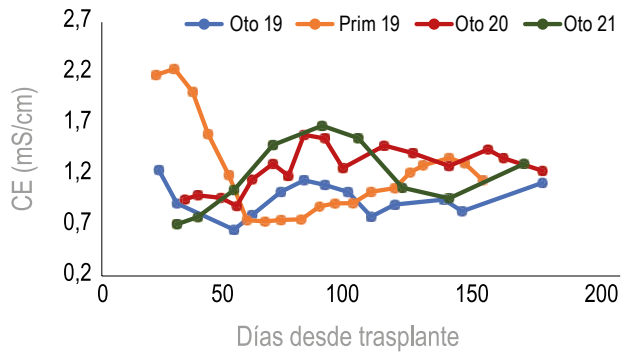
**Figura 2** - Potasio en la solución de suelo a lo largo del ciclo del cultivo de tomate para Primavera 2019, Otoño 2020 y Otoño 2021.

**Nitrato**

Los valores de nitrato en la solución de suelo variaron entre ciclos (Figura 3). En otoño, los valores promedio medidos desde el trasplante hasta los 64 días del ciclo fueron de 3,1 mmol/l. Luego el valor promedio asciende a 4,8 mmol/l. En primavera se partió de valores muy altos, pero desde los 50 días del trasplante en adelante los valores promedio fueron de 2,7 mmol/l.

**Conductividad eléctrica**

Los valores de conductividad eléctrica en la solución de suelo fueron en promedio 1,3 mS/cm. Con un máximo de 2,4 y un mínimo de 0,7 mS/cm (Figura 4).



**Figura 4** - Conductividad eléctrica en solución de suelo a lo largo del ciclo del cultivo de tomate para Otoño 2019, 2020 y 2021 y Primavera 2019.

**Valores de potasio, nitrato y conductividad eléctrica medidos en solución de suelo**

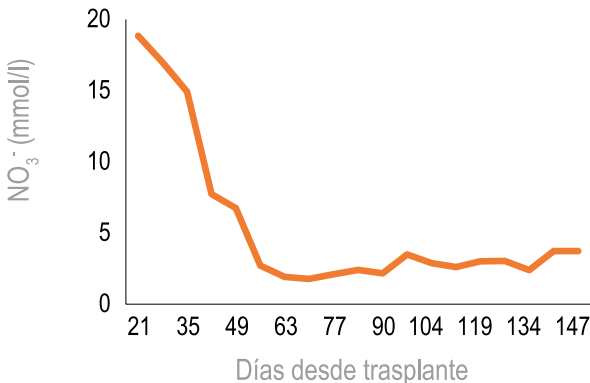
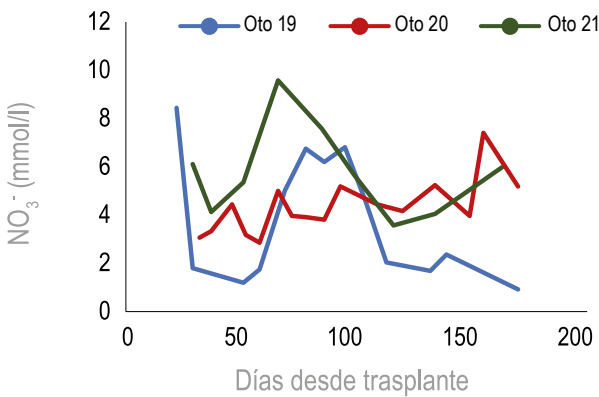
Los niveles promedio de potasio, nitrato y conductividad medidos en solución de suelo se resumen en los Cuadros 4 y 5.

**Cuadro 4** - Valores promedio medidos de potasio y conductividad eléctrica en solución de suelo.

Ciclo	K <sup>+</sup> (mmol/l)	CE (mS/cm)
Otoño/Primavera	1,1	1,1 – 1,4

**Cuadro 5** - Valores promedio medidos de nitrato en solución de suelo según tipo de ciclo y etapa.

Ciclo	Días desde trasplante	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol/l)
Otoño	0 - 64	3,1
	64 - 150	4,8
Primavera	50 - 150	2,7



**Figura 3** - Nitrato en la solución de suelo a lo largo del ciclo del cultivo de tomate para Otoño 2019, 2020 y 2021 (A) y Primavera 2019 (B).

En otoño, los valores de nitrato promedio desde el trasplante hasta los 64 días del ciclo fueron de 3,1 mmol/l. Luego, el valor promedio asciende a 4,8 mmol/l. En primavera, se partió de valores muy altos, pero desde los 50 días del trasplante en adelante los valores promedio fueron de 2,7 mmol/l.

Estos valores surgen de la combinación de mediciones sobre cuatro ciclos de cultivos de tomate de ciclo corto (menores a 200 días) con rendimientos entre 15,2 y 20,7 kg/m<sup>2</sup> con fertilización calculada para satisfacer el 100 % de los requerimientos del cultivo, considerando el aporte del suelo y el agua de riego.

Se debe tener en cuenta que el suelo en el cual se realizaron las determinaciones es de textura franco limoso con 3 % de materia orgánica. Estos valores pueden cambiar para otros tipos de suelo.

Estos niveles de nutrientes pueden considerarse como valores de referencia en el cultivo de tomate, para la obtención de buenos rendimientos en los ciclos de primavera y de otoño en nuestro país, pero se debe considerar el tipo de suelo presente.

El monitoreo de nutrientes durante el transcurso del cultivo es una herramienta muy útil para ajustar los planes de fertilización y realizar correcciones si fuese necesario. Un manejo adecuado de la nutrición evita desequilibrios entre nutrientes, permite mejorar el rendimiento, mejorar la calidad de los productos cosechados, aumentar la eficiencia de uso de fertilizantes y evitar excesos que pueden provocar problemas ambientales.

## BIBLIOGRAFÍA

Berrueta, C; Grasso, R.; Giménez, G.; Bentancur, J.; Rivero, D. 2021. Análisis de savia para la determinación rápida del nivel de potasio, nitrato y calcio en el campo. Revista INIA N° 67, p. 122-126.

Grasso, R.; Berrueta, C.; Giménez, G. 2021. Monitoreo de nutrientes para la asistencia a la fertirrigación a nivel de predios. Revista INIA N° 66, p. 108 – 112.

Los valores de K<sup>+</sup> medidos en la solución de suelo durante el ciclo de crecimiento del tomate se encontraron entre 0,2 y 2,6 mmol/l, con un promedio de 1,1 mmol/l.



Foto: Irvin Rodríguez

**Figura 5** - Labores en invernáculo de tomate en INIA Las Brujas.