



Foto: Marcelo Falero

EL PROBLEMA DE LA ACUMULACIÓN DE SODIO EN SUELOS BAJO INVERNÁCULO Y CÓMO MANEJARLO

Dra. Cecilia Berrueta, Dr. Rafael Grasso

Sistema Vegetal Intensivo

La acumulación de sales en suelo se produce por diferentes causas y puede afectar negativamente el rendimiento de los cultivos. En este artículo se aborda este problema para el caso del Na^+ en condiciones de cultivo protegido y se aportan recomendaciones para prevenirlo o solucionarlo.

ACUMULACIÓN DE SODIO (Na^+) Y OTRAS SALES EN EL SUELO

La aplicación excesiva de enmiendas orgánicas e inorgánicas (ricas en sodio) junto con el laboreo frecuente conducen a la acumulación de sales en los suelos de invernáculos, sin la presencia del efecto de la lluvia (Thompson *et al.*, 2007).

Las sales, como el sodio (Na^+), que se acumulan en la zona de raíces pueden provenir del suministro de agua de riego rica en Na^+ , enmiendas orgánicas, fertilizantes u otros productos químicos, o mecanismos naturales como la mineralización de la materia orgánica del suelo, el movimiento ascendente de iones con agua por evapotranspiración, o absorción selectiva por cultivos.

Las condiciones de sequía, como las ocurridas recientemente en Uruguay (entre 2022 y 2023) aumentan la acumulación de sales, el pH y la alcalinidad en los reservorios de agua para riego, lo que profundiza los problemas de acumulación de sales y alcalinización en las capas superficiales, especialmente en cultivos protegidos o con mulch de nylon.

Esta acumulación de sales puede afectar negativamente el rendimiento de los cultivos, reduciendo la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas; aumentar el pH del suelo y cambiar la distribución de cationes intercambiables. En suelos con alto contenido de Na^+ intercambiable, las partículas del suelo están dispersas y la estructura es pobre, lo que afecta el movimiento del agua y el aire producto de la compactación. Los suelos sódicos se vuelven propensos a la formación de costras superficiales, que afectan la emergencia de plántulas, favorecen el estancamiento del agua, reducen la infiltración y causan condiciones anóxicas. El Na^+ en exceso compite con el calcio y el potasio y reduce su disponibilidad para los cultivos (Machado y Serralheiro, 2017).

MEDICIONES DE Na^+ EN INVERNÁCULOS EN URUGUAY

El contenido de Na^+ intercambiable en el suelo limita el rendimiento del tomate en Uruguay. Estudios previos demostraron que el Na^+ en el suelo (0 - 20 cm de profundidad) fue un factor significativo a la hora de explicar la variabilidad en la brecha de rendimiento para el tomate de invernáculo en el sur del país (Berrueta *et al.*, 2019). La acumulación de Na^+ está relacionada a la gestión del riego y el drenaje. El riego debe tener como objetivo mantener un potencial hídrico del suelo suficientemente alto y provocar la lixiviación de sales



Foto: Cecilia Berrueta

Figura 2 - Cultivo de tomate bajo invernáculo con síntomas de acumulación de sales en torno al bulbo de humedecimiento de los goteros.

en el perfil del suelo. Para ello, se recomiendan eventos de riego frecuentes y regímenes que satisfagan los requisitos de lixiviación. Berrueta *et al.* (2024) reportó una relación directa entre el nivel de drenaje y el lavado de Na^+ en un Brunosol eútrico del sur de Uruguay (Figura 1).

En dicho estudio se observó que con drenajes mayores al 13 % del riego total, el lavado de Na^+ superó el total aplicado en la solución nutritiva (proveniente del agua de riego). Por lo tanto, se eliminó Na^+ del complejo de intercambio del suelo. Los complejos de intercambio natural absorben cationes de calcio y magnesio con más fuerza que el sodio. Por tanto, es más susceptible al lavado.

En condiciones de sequía, como las ocurridas entre 2022 y 2023 en Uruguay, aumenta la salinidad, el pH y la alcalinidad en los reservorios de agua para riego. Esto profundiza los problemas de acumulación de sales y alcalinización de los suelos.

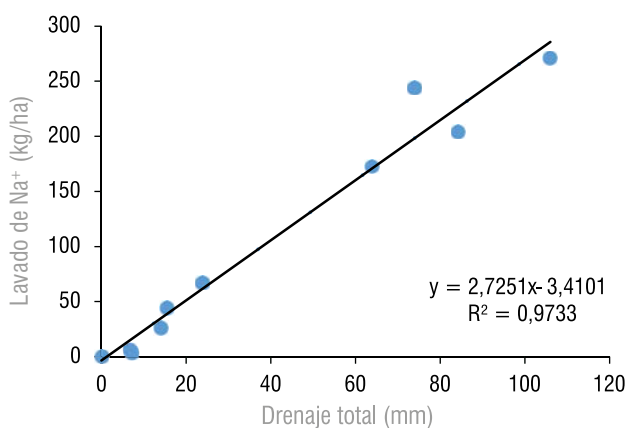


Figura 1 - Relación entre el lavado de Na^+ y el drenaje total para varios regímenes de fertirriego en 4 zafras de tomate (Berrueta *et al.*, 2024).

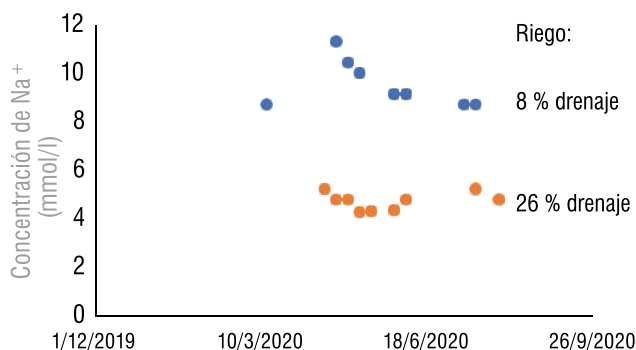


Figura 3 - Concentración de Na⁺ en la solución del suelo en un cultivo de tomate (zafra Otoño 2020) monitoreado con sondas con distintos regímenes de riego (8 y 26 % de drenaje total).

En contraposición, con drenajes menores al 13 %, se provocó una acumulación de Na⁺ durante el crecimiento del cultivo (Figura 2) y aumentó la conductividad eléctrica (CE) en la solución del suelo. Esto ocurrió con un agua considerada levemente restrictiva para el riego (Ayers y Westcot, 1989), con una CE de 0,23 dS/m y 54 mg/l de Na⁺.

MANEJO A CAMPO DE LA SALINIDAD Y LA ACUMULACIÓN DE Na⁺

Dado que el drenaje total del suelo es el principal factor que regula la acumulación de sales en cultivos bajo invernáculo, la optimización del riego y el manejo del drenaje profundo son los factores clave para prevenir la acumulación de Na⁺ y sus daños a los cultivos.

En caso de acumulación de sales, especialmente Na⁺, se recomienda aplicar riegos de lavado. Los requisitos de lavado dependen de la CE del extracto saturado del suelo y de la CE del agua de riego. Porcentajes de saturación de Na⁺ en extracto saturado mayores a 5 % indican que puede haber efectos negativos sobre los cultivos; y en casos superiores al 10 % se recomienda tomar medidas inmediatas. Por esto, el análisis periódico del suelo y el agua de riego es

El monitoreo de la solución del suelo con sondas de succión y sistemas rápidos de análisis químico permite aplicar riegos de lavado cuando el nivel de Na⁺ es alto (y el de NO₃⁻ es bajo).

En caso de acumulación de sales, especialmente Na⁺, se recomienda aplicar riegos de lavado.

recomendable para identificar el problema y definir la forma más adecuada de manejarlo. Los riegos de lavado se realizan principalmente fuera del periodo de cultivo para no afectarlo.

En general, se han observado valores altos de salinidad y Na⁺ en la capa superficial del suelo (0 - 20 cm) al trasplante de los cultivos de otoño (febrero-marzo), por las condiciones de alta evapotranspiración del verano y el ascenso de iones (Berrueta *et al.*, 2019). Los volúmenes aplicados en riegos individuales de lavado de sales se encuentran entre 20 y 40 mm (Thompson *et al.*, 2007). En caso de haber suelas de arada o zonas compactadas en el perfil de suelo se recomienda realizar laboreo vertical para favorecer el drenaje profundo.



Figura 4 - Sondas de succión para el monitoreo de salinidad y nivel de Na⁺ en la solución de suelo y tensiómetros para el manejo del riego.

Como contraparte debemos considerar que otros iones que no deseamos perder, como el NO_3^- , se lavan fácilmente con el aumento del drenaje. Fraccionar la fertilización con NO_3^- es una medida para atenuar este efecto. Otra práctica de manejo para hacer frente a la acumulación de Na^+ consiste en su sustitución con cationes favorables como el calcio, lo que mejora las relaciones suelo-agua. Una alternativa es la aplicación de yeso agrícola.

Para el manejo de este problema se recomienda:

- Realizar análisis de suelo y agua de forma periódica (al comienzo o final del ciclo).
- Monitoreo de la humedad del suelo con tensiómetros para tomar mejores decisiones sobre la cantidad y el momento del riego. Los sensores de humedad de suelo inmediatamente debajo de las raíces (30 - 40 cm de profundidad) son herramientas útiles para indicar el drenaje profundo (Grasso *et al.*, 2022).
- Monitoreo de la solución de suelo con sondas de succión y sistemas rápidos de análisis químico para decidir el momento adecuado para la aplicación de riegos de lavado, cuando el nivel de Na^+ es alto (y el de NO_3^- es bajo).

BIBLIOGRAFÍA

Ayers RS, Westcot DW. 1989. Water quality for agriculture. FAO Irrig. Drainage 29: 1–174.

Berrueta C, Borges A, Giménez G, Dogliotti S. 2019. On-farm diagnosis for greenhouse tomato in South Uruguay: explaining yield variability and ranking of determining factors. Eur. J. Agron. 110. 125932.

Berrueta, C.; Grasso, R.; Giménez, G.; Falero, M. 2022. Análisis de solución de suelo con sondas de succión para monitoreo de fertirriego en tiempo real. Revista INIA no. 68, p. 42-46.

Berrueta, C.; García, C.; Grasso, R. 2024. Sodium accumulation vs. Nitrate leaching under different fertigation regimes in greenhouse soils in South Uruguay. Agrocienza Uruguay. En publicación.

Grasso, R.; Berrueta, C.; Giménez, G.; Alzugaray, J. Cuándo y cuánto regar. Manejo del riego con tensiómetros en cultivos hortícolas protegidos. Hortifruticultura. Revista INIA Uruguay, Junio 2022, no.69, p.78-81. (Revista INIA; 69).

Machado R, Serralheiro R. 2017. Soil Salinity: Effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. Horticulturae 3: 30.

Thompson RB, Martínez-Gaitán C, Gallardo M., Giménez C, Fernández MD. 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 Manage. 2007; 89: 261–274.



Foto: Marcelo Falero

Figura 5 - Laboreo vertical de suelos en invernáculo previo a la instalación de cultivo.