



CONTROL DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA HIDROPÓNICA (NFT) BASADO EN EL PH Y LA CONDUCTIVIDAD: luces y sombras

Bach. Juan Ignacio Ayres, Dr. Rafael Grasso,
Dra. Cecilia Berrueta

Sistema Vegetal Intensivo - INIA

Este artículo presenta el estudio de caso de un sistema hidropónico NFT con el objetivo de analizar su gestión en la producción de lechuga y rúcula, con énfasis en el manejo de la solución nutritiva e identificando potenciales mejoras para el manejo de nutrientes.

INTRODUCCIÓN

El sistema de producción hidropónico se ha consolidado como una tecnología de reconocida eficiencia y de implementación extendida en diversos países del mundo desde el ámbito urbano hasta la producción comercial. En Sudamérica el principal cultivo corresponde a la lechuga bajo el sistema NFT (Nutrient Film Technique) que ocupa el 49 % de la superficie de cultivos hidropónicos. En Uruguay, la producción hidropónica ha despertado interés en los últimos años,

surgiendo diversos emprendimientos, especialmente para el cultivo de hortalizas de hoja (lechuga, rúcula, berro, etc.) en NFT, pero también otros como tomate y frutilla sobre fibra de coco.

La hidroponía es un sistema de cultivo sin suelo en el que se suministran, a través del agua, todos los nutrientes minerales necesarios, buscando maximizar los rendimientos de los cultivos. Existen diferentes tipos de sistemas hidropónicos dentro de los que se destacan los siguientes: sistemas abiertos en los que

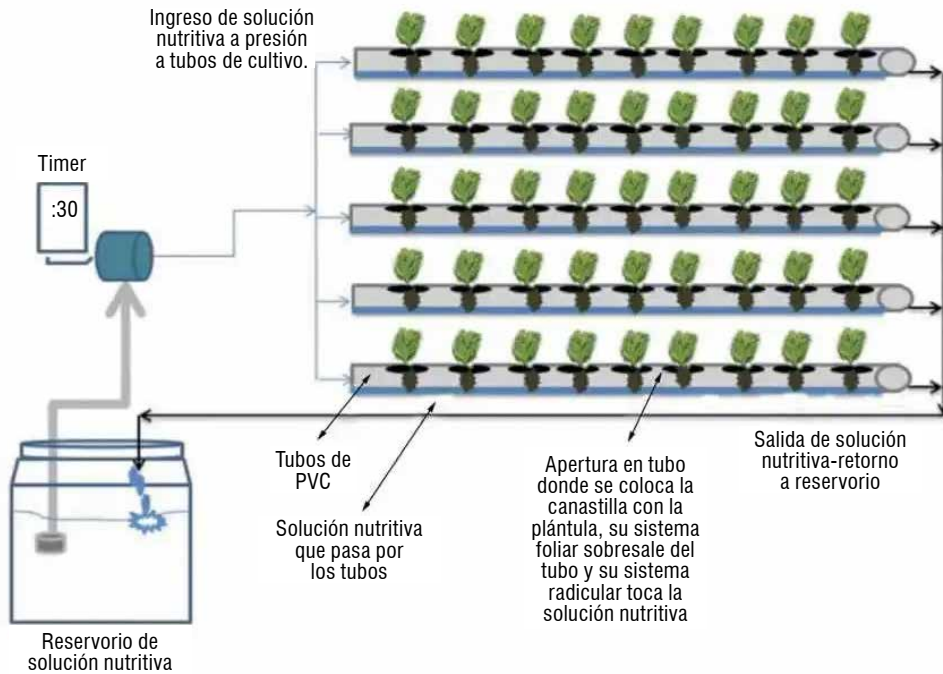


Figura 1 - Esquema del sistema hidropónico NFT.

la solución nutritiva suministrada no regresa al depósito de nutrientes y sistemas cerrados donde la solución nutritiva se recoge y vuelve a la reserva para ser reutilizada por un cierto número de veces. Dependiendo del medio utilizado para el desarrollo de las raíces, se pueden clasificar en tres grupos: cultivos en agua, aire o sustrato. El sistema NFT (Figura 1) es una técnica en la que las plantas se cultivan en contenedores acanalados donde se hace recircular la solución nutritiva. Una fina lámina de solución pasa a través de las raíces de las plantas sin cubrirlas, permitiendo que estén en contacto con el aire para su oxigenación (Urrestarazú, 2004). Se prepara una solución concentrada que se diluye y envía al sistema. La solución nutritiva se renueva periódicamente debido a la acumulación de iones no deseados.

Steiner (1961) definió los parámetros de una solución como la concentración de cada ion, el pH de la solución y concentración iónica total medida a través de la conductividad eléctrica (CE) (Figura 2). De manera que si no tomamos en cuenta alguno de estos parámetros es difícil mantener una solución equilibrada. La composición de una solución nutritiva para un cultivo en particular es óptima cuando la concentración de nutrientes en la solución está en correlación con su absorción. Si bien existen fórmulas estandarizadas para diferentes cultivos, debido a condiciones ambientales, varietales y del propio sistema, se hace necesario que los productores realicen ajustes, teniendo en cuenta además la calidad del agua disponible (Van Os *et al.*, 2016). Esto se realiza observando, testeando y ajustando hasta alcanzar el balance adecuado.



Figura 2 - Parámetros de control de una solución nutritiva equilibrada.

Conductividad eléctrica (CE).

En la práctica, la CE y el pH son las herramientas comúnmente usadas para el manejo de la solución. La CE es una medida de concentración total de las sales disueltas en la solución nutritiva, la unidad de medida es el mS/cm. Por lo tanto, la CE no nos indica la concentración de los nutrientes minerales de manera individual. La CE es ampliamente utilizada para monitorear la solución con el objetivo de mantener el contenido total de sales dentro de ciertos parámetros. El rango óptimo es variable de acuerdo con el cultivo y su tolerancia a la salinidad, pero para la mayoría se sitúa en el entorno de 2 mS/cm. Una CE baja para lechuga (0,5 mS/cm) nos indica una concentración baja de nutrientes y se debería ajustar la inyección a la suba. Por el contrario, si tenemos una CE alta (4 mS/cm) indica que se están acumulando sales en la solución y tenemos que hacer un recambio de la misma en un



Figura 3 - Sistema hidropónico NFT.

sistema cerrado, o bajar la inyección de nutrientes en un sistema abierto. Pero en el caso de que la CE sea adecuada (1,5 - 2,5 mS/cm para lechuga), no indica si el equilibrio de sales es adecuado, de manera que se debe medir la concentración de los principales macronutrientes como nitrógeno, potasio, calcio y magnesio.

El pH de la solución afecta la disponibilidad y absorción de nutrientes por las raíces. El rango óptimo de pH para la mayoría de los cultivos hortícolas en sistemas hidropónicos se sitúa entre 5,8 a 6,2. Valores de pH inferiores reducen la disponibilidad de nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, fósforo y molibdeno, mientras que valores de pH altos o alcalinos reducen la disponibilidad de la mayoría de los micronutrientes.

ESTUDIO DE CASO: VERDEAGUA, UNA EMPRESA CON CULTIVO DE LECHUGA Y RÚCULA EN NFT

En la empresa VerdeAgua, dedicada a cultivos hidropónicos de hoja, se llevó a cabo un diagnóstico del sistema NFT con el objetivo de analizar el sistema de producción para los cultivos de lechuga y rúcula con énfasis en el manejo de la solución nutritiva. Se analizó el crecimiento, rendimiento, consumo de nitrógeno, potasio y calcio, variables ambientales, y características de la solución nutritiva durante dos ciclos de cultivos de

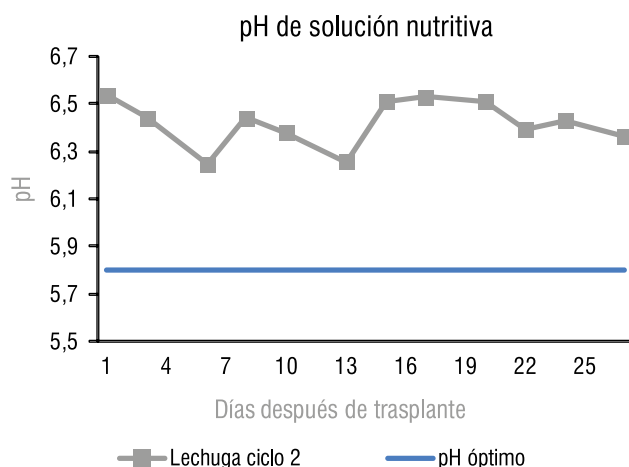


Figura 4 - Evolución del pH de la solución nutritiva durante el ciclo de cultivo de lechuga primavera 2020.

lechuga y rúcula en otoño y primavera de 2020 con el manejo habitual de la empresa. En este establecimiento, el control y ajuste de la solución nutritiva está basado exclusivamente en mediciones diarias de pH y CE. A continuación, se describen los resultados obtenidos en cuanto a: pH, CE y concentración de nitratos (NO₃⁻), potasio (K⁺), calcio (Ca⁺²) y sodio (Na⁺) medidos con sistemas de análisis rápido LAQUA-Twin en la solución nutritiva para el cultivo de lechuga. Las muestras se tomaron a la entrada y a la salida del sistema, tres veces por semana, durante todo el ciclo de cultivo.

En lo que refiere al pH, se pudo constatar que los valores medidos en la solución de la lechuga estuvieron por encima de lo recomendado por la bibliografía a lo largo de todo el ciclo de cultivo (Cuadro 1 y Figura 4).

En la práctica, la conductividad eléctrica y el pH son las herramientas comúnmente usadas para el manejo de la solución nutritiva.

Cuadro 1 - Parámetros evaluados en la solución del cultivo de lechuga.

Parámetro	Valor medido promedio	Valor de referencia	Referencia
pH	6,4	5,5 - 6	Henry <i>et al.</i> (2018)
CE (mS/cm)	1,74	1,8	Samarakoon <i>et al.</i> (2019)
NO ₃ ⁻ (mmol/l)	4,1	14	Rodríguez <i>et al.</i> (2001)
K ⁺ (mmol/l)	0,9	6,6	Furlani (1998)
Ca ⁺² (mmol/l)	6,6	5,0	Resh (2001)
Na ⁺ (mmol/l)	3,8	Menor de 1,5	Van der Lugt <i>et al.</i> (2020)

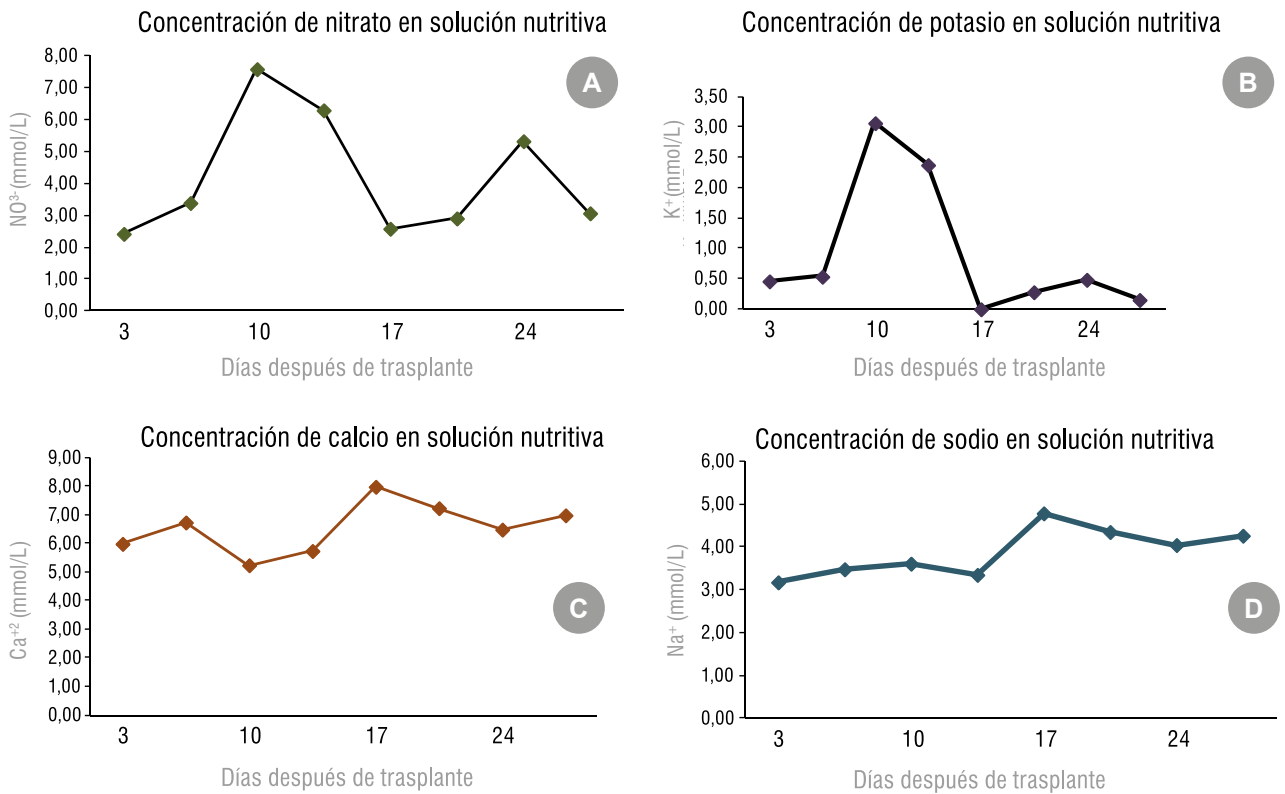


Figura 5 - Evolución de la concentración de Nitrato (NO₃⁻) (A), potasio (K⁺) (B), calcio (Ca²⁺) (C) y sodio (Na⁺) (D) durante el cultivo de lechuga.

Si bien se realizaban correcciones de pH con ácidos no se logró el pH objetivo, lo que pudo afectar la disponibilidad de nutrientes.

A diferencia de lo observado en pH, la CE (que mide la concentración de sales totales) promedio en la solución nutritiva de lechuga, fue similar a los valores de referencia (Cuadro 1).

Sin embargo, las concentraciones de nitrato y potasio en la solución nutritiva estuvieron muy por debajo de

El problema de solo medir CE es que algunos elementos no deseados (Na⁺) y otros que se consumen lentamente (Ca²⁺), se acumulan aumentando la CE en la solución, enmascarando la baja concentración de los nutrientes más consumidos por la planta (NO₃⁻ y K⁺).

los valores recomendados por la bibliografía (Cuadro 1) presentando, además, grandes variaciones a lo largo del ciclo (Figura 5A y B). En contraposición, el calcio y el sodio tuvieron tendencia a concentrarse en la solución llegando a valores muy superiores a los deseados (Cuadro 1 y Figura 5C y D).

Algunos elementos no deseados como el sodio, y otros que se consumen lentamente como el calcio, se acumulan aumentando la CE de la solución y enmascarando la baja concentración de los nutrientes más consumidos por el cultivo (nitrógeno y potasio), llevando a la reducción de la concentración de nutrientes en los tejidos y a la consecuente reducción del crecimiento de las plantas (Miller *et al.*, 2020). Además, el sodio y el calcio pueden estar en alta concentración en el agua de riego agudizando el problema.



Figura 6 - Vista del cultivo de lechuga analizado.

Se recomienda el análisis periódico de la concentración de nutrientes para ser más precisos en la formulación de la solución nutritiva. Una alternativa para realizar esto en el predio son los sistemas de análisis rápido de nutrientes.

LECCIONES APRENDIDAS

La concentración de nutrientes, especialmente en el caso de los sistemas recirculantes es muy dinámica. Por esto, la CE como único elemento para el manejo de los nutrientes en la solución es insuficiente y conduce a errores importantes en la concentración de nutrientes (NO_3^- y K^+) reduciendo los rendimientos y la calidad de los cultivos.

Por lo tanto, sería recomendable el análisis periódico de la concentración de nutrientes para ser más precisos en cuánto y cuáles nutrientes aplicar y en qué dosis al momento de la formulación de la solución nutritiva, de forma de dar condiciones óptimas para el crecimiento de los cultivos.

Esto podría realizarse tanto mediante sistemas de análisis rápido a nivel de campo como en laboratorio. Los sistemas de análisis rápido de nutrientes han

demostrado ser herramientas útiles a nivel de predios, siendo relativamente baratos, rápidos y fáciles de utilizar (Grasso *et al.*, 2021).

En el siguiente enlace se presenta información sobre el monitoreo de nutrientes para la asistencia a la fertirrigación a nivel de predios:

Acceda **AQUÍ** 

BIBLIOGRAFÍA

- 1 - Grasso, R.; Berrueta, C.; Giménez, G. 2021. Monitoreo de nutrientes para la asistencia a la fertirrigación a nivel de predios. Revista INIA. no. 66: 108-112.
- 2 - Miller, A.; Adhikari, R.; Nemali, K. 2020. Recycling Nutrient Solution Can Reduce Growth Due to Nutrient Deficiencies in Hydroponic Production (en línea). *Frontiers in Plant Science*. 11(607643): 1-11. Consultado abr. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.607643>
- 3 - Urrestarazú, M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. 3ª. ed. rev. y ampl. Madrid, Mundi-Prensa. 17 p.
- 4 - Van Os, E. A.; Blok, C.; Voogt, W.; Waked, L. 2016. Water quality and salinity aspects in hydroponic cultivation. (en línea). Wageningen University and Research Glastuinbouw. 7 p. Consultado feb. 2022. Disponible en <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/403810>

AGRADECIMIENTOS

A la empresa VerdeAgua por permitirnos estudiar su sistema productivo.



Foto: VerdeAgua

Figura 7 - Vista del cultivo de rúcula.