

Artículo Técnico

Recirculación: Una salida a la encrucijada del uso del agua y fertilizantes

Debido a las consecuencias a causa del cambio climático, nos enfrentamos a nivel global con una reducción significativa de la disponibilidad de agua. Según la FAO (2025) “la disponibilidad de agua renovable por persona se ha reducido un 7% en el último decenio. En nuestro entorno, hace 25 años Colombia era calificada como una potencia hídrica, con una oferta que superaba ampliamente la demanda del sector. Sin embargo, para 2025, el país enfrenta una fase de alerta permanente. La agricultura sigue siendo el mayor consumidor, utilizando aproximadamente el 70% de los recursos hídricos disponibles.

Mientras que en el año 2000 los eventos de escasez eran ocasionales, en 2025 se observa la peor crisis hídrica en 25 años. Esta crisis ha sido impulsada por el cambio climático, la deforestación y la creciente demanda. La Sabana de Bogotá es el lugar donde la competencia por el agua es más intensa. Esto se debe a la mezcla de la expansión urbana, la industria y la

agricultura intensiva - producción de flores y papa.

A principios de la década de 2000, la Sabana mantenía un equilibrio inestable. Los conflictos giraban en torno a la contaminación de fuentes superficiales, como el Río Bogotá. Sin embargo, la disponibilidad de agua no era la principal preocupación para

los agricultores de hortalizas y flores. El modelo de ordenamiento territorial apenas comenzaba a considerar el agua como un tema central. Para enero de 2026, el panorama ha cambiado drásticamente. Durante 2024 y principios de 2025, Bogotá y sus municipios cercanos, incluyendo Facatativá, Madrid y Funza, sufrieron estrictas medidas de racionamiento debido a los bajos niveles en embalses como Chuza y San Rafael. Ahora, el consumo humano compite directamente con el uso agrícola.

En julio de 2025, la optimización de la Planta de Tibitoc logró triplicar su capacidad de tratamiento, pasando de aproximadamente 4 m³/s a 10.5 m³/s. Este esfuerzo busca asegurar el suministro de agua para consumo humano durante los próximos 33 años y reducir la presión sobre el sistema Chingaza. Sin embargo, esta agua se prioriza para potabilización, lo que deja al sector agrícola con menos concesiones de fuentes superficiales.

La probabilidad de sequías extremas en la región ha aumentado 100 veces en comparación con el año 2000, principalmente debido al cambio climático. Además, la expansión urbana sobre suelos con potencial agrícola ha reducido las zonas de recarga de acuíferos, aumentando la huella hídrica regional. En Haifa creemos y trabajamos diariamente en estrategias y tecnologías que proporcionen herramientas para afrontar los futuros desafíos relacionados con la escasez de agua, teniendo presentes actividades que permitan procesos productivos mientras se reduce la huella de carbono, ya que el reto es lograr una sostenibilidad a largo plazo.

Por: I.A William Pachón

Technical Manager Haifa Colombia,
Perú & Venezuela

IA. Marco Molenaar

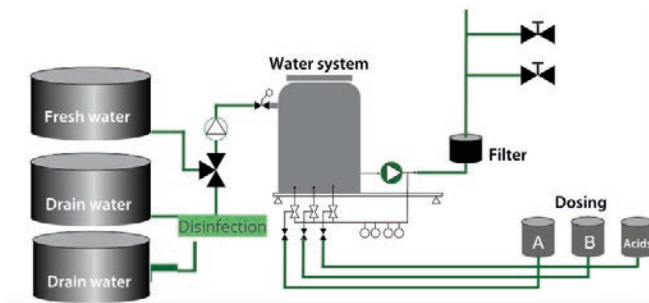
International Agronomist
Greenhouse Horticulture





Para el caso específico del sector floricultor y de otros que emplean sistemas de riego presurizado sobre contenedores de sustratos, el modelo de recirculación aparece como una alternativa a tener en cuenta.

La **recirculación de fertirriego (SRF)** en sistemas de cultivo sin suelo (hidroponía) ha pasado de ser una opción tecnológica a una necesidad normativa y económica. Este artículo desglosa la ingeniería detrás de la captura, tratamiento y reinyección de lixiviados bajo un modelo de ciclo cerrado.



Un SRF especializado se aleja del diseño convencional por su necesidad de monitoreo iónico selectivo. Los componentes críticos son:

Gestión de Lixiviados y Prefiltración

El drenaje proveniente de los sustratos (cascarilla de arroz, fibra de coco, turbas, materiales orgánicos o mezclas de ellos) suele representar entre el 20% y el 40% del volumen aplicado.

Este lixiviado es conducido por gravedad hacia una unidad de pre-tratamiento, tanque o reservorio donde se realizan las mediciones de sus condiciones químicas, a la vez que se determinan los requerimientos de desinfección.

La recirculación sin desinfección es inviable debido al riesgo de dispersión de fitopatógenos como *Fusarium oxysporum* o *ToBRFV*. Las tecnologías líderes en 2026 son:

- **Radiación UV-C de Alta Intensidad:** Aplicación de dosis calculadas ($D=J \times t$), superiores a 250 mJ/cm².
- **Ozonización Avanzada:** Uso de microburbujas para aumentar la transferencia de masa de O₃, manteniendo un potencial REDOX de 750 mV durante 4 minutos.
- **Filtros especializados:** Emplea filtrado mecánico para microorganismos de forma particular, caso filtrado para *Fusarium sp.*

Haifa Micro™

Micronutrientes Quelatados

Haifa Micro™ Fe 13% -EDTA

Haifa Micro™ Mn 13% -EDTA

Haifa Micro™ Zn 15% -EDTA

Haifa Micro™ Cu 14% -EDTA

Haifa Micro™ Combi

Fe 7,0% Mn 3,8%, Zn 0,9%, Cu 0,75% -EDTA
Mo 0,05%

Haifa Micro™ HYDROPONIC MIX

Fe 3,92% (EDDHA),
Mn 2,92%, Zn 1,30%, Cu 0,20% -EDTA
B 1,45% (EDTA) Mo 0,4%



Haifa Colombia SAS
Tel. (601)756 0351
Cel. 3103959843 - 310 8067565
3143644936
colombia@haifa-group.com
Bogotá - Colombia
www.haifa-group.com

Dinámica de nutrientes y acumulación de sales

En cuanto al manejo y recomposición de la formulación de la solución, es imprescindible un continuo monitoreo de contenidos, pH y C.E, entre otros con el propósito de balancear y mantener la homeostasis nutricional, el sistema de control debe resolver en tiempo real la siguiente ecuación de mezcla para cada ión principal (NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , P) C_{target}^*

$$V_{total} = (C_{dr} * V_{dr}) + (C_{fw} * V_{fw}) + (Minj)$$

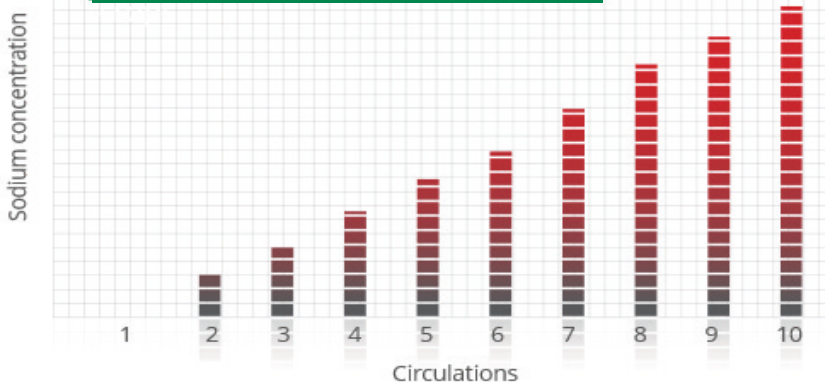
Donde:

- **C_{target} :** Concentración objetivo en el gotero.
- **V_{dr} , C_{dr} :** Volumen y concentración del drenaje recuperado.
- **V_{fw} , C_{fw} :** Volumen y concentración del agua fresca (*fresh water*).
- **$Minj$:** Masa de nutriente puro inyectada por los venturi o bombas de precisión.

Mientras son revisados los iones principales, es imprescindible el monitoreo y control de sales no consumidas. Uno de los mayores riesgos es la acumulación de Sodio (Na^+) y Cloro (Cl^-), iones que la planta absorbe en cantidades mínimas; por esta razón, los fertilizantes usados en estos sistemas cerrados deben contener la mínima cantidad de sales de lastre. El sodio (Na) y el cloro (Cl) son sales que aumentan los niveles de CE desde un punto negativo. Trabajar con Multi-K Recí garantiza bajos niveles de Na (máx. 300 ppm). ¡Pero hay más posibilidades, piensa también en los quelatos, basados en K en lugar de Na! (*Haifa Hydroponic mix*).

Cuando las plantas no consumen Sodio (Na), este se acumula en el sistema. Esto bloqueará elementos como Calcio, Magnesio y Potasio. Esto es lo que llamamos Antagonismo. La gestión del pH se ha vuelto más crítica y requerirá cada vez más conocimientos por parte del cultivador. Recoger y trabajar con el drenaje también implica manejar cierto número de carbonatos. Esto debe gestionarse lo mejor posible para evitar problemas en los sistemas de riego.

Cuando se usan fertilizantes convencionales, el sodio se acumula en los sistemas de recirculación



Acumulación de sodio vs número de recirculaciones

En niveles tecnológicos altos, al uso de C.E. y pH como indicadores principales, se han adicionado sensores de NO_3^- y K^+ , en tiempo real que se adicionan como data para modelos de Inteligencia Artificial, que logran el ajuste de la solución final incluyendo radiación solar acumulada y la diferencia entre la solución aplicada y la solución drenada, de esta forma se incrementa la Eficiencia en el Uso de Nutrientes (NUE).

La recirculación de fertirriego presenta la convergencia entre la ingeniería química, la agronomía y la ciencia de datos. Los modelos matemáticos presentados permiten una gestión proactiva del sistema, transformando un residuo contaminante (drenaje) en un recurso valioso. En 2026, la adopción de estas tecnologías es el único camino para mantener la competitividad de la floricultura y la horticultura intensiva

en regiones con alta presión hídrica.

Equilibrar todo el sistema en función del requerimiento final de las plantas es considerado el factor de éxito predominante. Para este objetivo es importante determinar las proporciones de aguas a mezclar (recirculación y fresca) y la adición de fertilizantes libres de sodio y cloro (1 unidad de C.E.). Para esto Haifa desarrolla una herramienta de cálculo para gestionar todo en equilibrio, llamada Nutrinet, donde encontrará un software de gestión y diseño paso a paso para lograr formulaciones balanceadas y sistemas equilibrados.

La recirculación ahorra agua y nutrientes, pero se requiere que el usuario tenga y desarrolle conocimientos en cuanto a la NUE (eficiencia en el uso de nutrientes) y la gestión del pH y C.E. principalmente.



Qr Nutrinet



Referencias

- Journal of Cleaner Production (2025). Closing the loop: Nutrient and water recovery in high-tech greenhouse systems. Elsevier.
- Sonneveld, C., & Voogt, W. (2024). Plant Nutrition of Greenhouse Crops: 2nd Updated Edition. Springer Nature.
- ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers) (2025). Standard 611: Design

and Management of Closed-Loop Irrigation Systems. ASABE Standards.

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (Colombia) (2025). Manual de Buenas Prácticas para el Uso Eficiente del Agua en el Sector Floricultor.
- Water MDPI (2026). Advanced Oxidation Processes for the Disinfection of Recirculating Nutrient Solutions. MDPI Water.
- Secretaría Distrital de Ambiente (Bogotá) (2025). Informe sobre el estado de los acuíferos y la presión por riego agrícola en la Sabana. SDA Bogotá.
- International Fertilizer Association (IFA) (2024). Global Outlook on Nutrient Use Efficiency and Recirculation Technologies. IFA Resources.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (2025). Informe de Estado de los Recursos

Naturales y del Ambiente: Cuenca Alta del Río Bogotá. Enlace a CAR.

- IDEAM. (2024). Estudio Nacional del Agua 2022-2026: Proyecciones de oferta y demanda hídrica. Bogotá D.C. Enlace a IDEAM.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2025). Resolución sobre las Áreas de Protección para la Producción de Alimentos (APPA) en la Sabana de Bogotá. Enlace a MinAgricultura.
- Banco Mundial. (2023). Colombia: Análisis de la gestión del agua en regiones metropolitanas de alto crecimiento. Washington, DC.
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2026). Mapas de aptitud hídrica para el sector agropecuario en Cundinamarca. Enlace a UPRA.



Pronóstico del tiempo del 12 de enero al 24 de enero en la sabana de Bogotá

