

## Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

### **Efecto de Hidrogel sobre Parámetros Hídricos y Fotosintéticos en Plántulas de Jitomate en Condiciones de Vivero**

### **Effects of Hydrogel on Hydric and Photosynthetic Parameters in Tomato Seedlings at the Nursery Stage**

Authors/Autores: Pérez Cruz, J.A., Martínez López, R., Garruña Hernández, R., Argáez Balcázar, F.J., Zúñiga Aguilar, J.J.

ID: e1916

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1916>

Received/Fecha de recepción: February 28<sup>th</sup> 2025

Accepted /Fecha de aceptación: January 19<sup>th</sup> 2026

Available online/Fecha de publicación: March 05<sup>th</sup> 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: Pérez Cruz, J.A., Martínez López, R., Garruña Hernández, R., Argáez Balcázar, F.J., Zúñiga Aguilar, J.J. (2026). Effects of Hydrogel on Hydric and Photosynthetic Parameters in Tomato Seedlings at the Nursery Stage. *Revista Bio Ciencias*, 13, e1916. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1916>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

## Efecto de Hidrogel sobre Parámetros Hídricos y Fotosintéticos en Plántulas de Jitomate en Condiciones de Vivero

### Effects of Hydrogel on Hydric and Photosynthetic Parameters in Tomato Seedlings at the Nursery Stage

El uso de hidrogel mejora parámetros fotosintéticos en jitomate/

Use of hydrogel improves photosynthetic parameters in tomato

Pérez Cruz, J.A.<sup>1</sup> , Martínez López, R.<sup>1</sup> , Garruña Hernández, R.<sup>2</sup> , Argáez Balcázar, F.J.<sup>1</sup> , Zúñiga Aguilar, J.J.<sup>3\*</sup> 

<sup>1</sup>Depto de Ingeniería Bioquímica. Tecnológico Nacional de México, Campus de los Ríos. Km. 3, Carr. Balancán-Villahermosa. C.P. 86930, Balancán, Tabasco, México.

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal. Avenida Tecnológico s/n. C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México.

<sup>3</sup>Academia de Biotecnología. Universidad Tecnológica del Usumacinta. Libramiento Glorieta Emiliano Zapata-Tenosique s/n. C.P. 86980, Emiliano Zapata, Tabasco, México.

\*Corresponding Author:

[José Juan Zúñiga-Aguilar](mailto:jzuniga007@gmail.com). Academia de Biotecnología. Universidad Tecnológica del Usumacinta. C.P. 86980, Emiliano Zapata, Tabasco, México. Teléfono: (999) 271 6557. E-mail: [jzuniga007@gmail.com](mailto:jzuniga007@gmail.com)

#### RESUMEN

En este estudio se evaluó los efectos de gel de acrilato de potasio sobre parámetros hídricos, fotosintéticos y del desarrollo de plántulas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivadas bajo condiciones ambientales controladas. Las plántulas se dividieron en dos lotes y se regaron cada cuatro o siete días durante cinco semanas. Las plántulas control sin hidrogel se mantuvieron adecuadamente hidratadas. La aplicación de hidrogel redujo la cantidad de agua de riego entre un 40 y un 80 % y la frecuencia de cada 3 o 7 días. Cantidades altas de hidrogel redujeron la tasa de transpiración y la conductancia estomática, pero aumentaron la concentración de clorofila por área foliar, la tasa fotosintética neta y la eficiencia del uso de agua externa. La concentración intracelular de CO<sub>2</sub> se mantuvo sin cambios. Cantidades bajas de hidrogel incrementaron ligeramente la altura de la planta y el grosor del tallo, mientras que todas las cantidades de hidrogel aumentaron el número de hojas, pero no afectaron el número de ramas. Estos resultados demuestran que el uso de hidrogel reduce la cantidad de agua y la frecuencia de riego sin afectar negativamente el desarrollo y el vigor de las plántulas de jitomate durante la etapa de semillero.

## PALABRAS CLAVE:

Irrigación eficiente, plántulas en vivero, *Solanum lycopersicum*, uso de hidrogel, incremento del vigor.

## ABSTRACT

The effects of potassium acrylate gel on hydric, photosynthetic, and developmental parameters of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings grown in a controlled environment were evaluated. Seedlings were divided into two batches and irrigated either every four or seven days for a period of five weeks. Control seedlings without hydrogel were kept adequately hydrated. Hydrogel application reduced irrigation water use by 40-80 % and the frequency to every 3-7 days. High levels of hydrogel reduced transpiration rate and stomatal conductance, but increased chlorophyll concentration per leaf area, net photosynthetic rate, and external water-use efficiency. Intracellular CO<sub>2</sub> concentration remained unchanged. Low amounts of hydrogel slightly increased plant height and stem thickness, while all amounts of hydrogel increased the number of leaves but did not affect the number of branches. These findings demonstrate that the use of hydrogel reduces the amount of water and irrigation frequency without negatively affecting the development and vigor of tomato seedlings during the nursery stage.

## KEY WORDS

Efficient irrigation, seedlings in nursery, *Solanum lycopersicum*, use of hydrogel, vigor enhancement.

## Introducción

El cultivo de especies hortícolas en condiciones de invernadero es una práctica habitual antes de trasplantar las plántulas al suelo. El procedimiento común implica la germinación de semillas en bandejas de poliestireno de 200 celdas, seguida del riego y la fertilización de las plántulas emergentes hasta que adquieren el vigor suficiente para soportar el trasplante (Sharma *et al.*, 2023). El cultivo en condiciones de invernadero proporciona a las plántulas jóvenes un entorno controlado que mitiga las condiciones adversas encontradas en el medio ambiente, como plagas, enfermedades, malas hierbas, sequía y altas temperaturas (Riikonen & Luoranen, 2018). El cuidado adecuado en el semillero permite un mejor desarrollo del sistema radicular, de la producción y distribución de asimilados y la acumulación de biomasa (Russo, 2005; An & Shin, 2021). También fortalece el contenido de clorofila, la fotosíntesis, las tasas de respiración y mejora los procesos de crecimiento y diferenciación (Fiasconaro *et al.*, 2022), lo que conduce a un mejor establecimiento en el suelo, alta precocidad y mayores rendimientos (Sánchez-del Castillo *et al.*, 2012; Oagile *et al.*, 2016). Estudios han demostrado que las plántulas cultivadas en condiciones de invernadero son más resistentes al estrés del trasplante y tienen mayores tasas de supervivencia en el campo (Moncada *et al.*, 2020).

Mientras que el riego durante la etapa de invernadero es manejable, el riego adecuado durante esta etapa es crucial. Debido a que las plántulas expuestas a condiciones hídricas deficientes pueden experimentar una reducción de la actividad

fotosintética, la conductancia estomática e hidráulica y la transpiración, es indispensable mantener niveles óptimos de hidratación para propiciar un crecimiento vigoroso (Mariño, 2014).

Una estrategia reciente para asegurar un suministro relativamente constante de agua a los cultivos de plántulas es la adición de hidrogeles al sustrato, tanto en condiciones de invernadero como en el campo (Mudhanganyi *et al.*, 2018). Los hidrogeles son polímeros superabsorbentes, capaces de absorber entre 100 y 400 veces su peso en agua, con alta capacidad de hinchamiento y permeabilidad considerable al agua y a pequeños solutos (Rivera Fernández & Gallo, 2018). Los hidrogeles se han empleado en el sector agrícola para reducir la frecuencia de riego, la lixiviación y el estrés por sequía tras la siembra, contribuyendo a la supervivencia de plantas con acceso limitado al agua en el campo (Crous, 2017; Ortiz-García *et al.*, 2021; Tomášková *et al.*, 2020).

Los hidrogeles se han utilizado durante la germinación de semillas (Nagaraj Gokavi *et al.*, 2018; Prisa & Guerrini, 2022) y en fases previas y posteriores al trasplante de las plántulas (Barbaro *et al.*, 2015; Gustavo-González *et al.*, 2021). Los hidrogeles han demostrado ser eficaces para reducir tanto la frecuencia como el volumen de riego, así como para reducir el uso de fertilizantes. Adicionalmente, se ha demostrado un beneficio sobre parámetros fotosintéticos y el rendimiento de los cultivos (Jamnická *et al.*, 2013; Ortega-Torres *et al.*, 2020). No obstante, el uso de hidrogeles durante el precultivo de especies agrícolas en semillero ha arrojado resultados dispares en cuanto al desarrollo, el rendimiento y el estado fisiológico de las plántulas (El-Asmar *et al.*, 2017; El Idrissi *et al.*, 2023).

Debido a que el vigor adquirido durante la etapa de vivero es esencial para que las plántulas puedan afrontar el estrés ambiental tras el trasplante, el objetivo de este trabajo fue investigar los efectos del uso de un hidrogel de acrilato de potasio sobre parámetros hídricos y fotosintéticos de plántulas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), durante su cultivo en condiciones controladas en cuarto de crecimiento.

## **Materiales and Métodos**

Las semillas fueron extraídas de frutos de la variedad Saladet de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), un híbrido comercial de tamaño pequeño y forma alargada. Las semillas fueron enjuagadas con agua corriente, secadas sobre papel absorbente y almacenadas en la oscuridad a 25 °C en sobres de papel. Semillas almacenadas durante dos semanas fueron colocadas en placas de Petri entre papeles húmedos y germinadas en la oscuridad a 25 °C.

### **Cultivo de plántulas en condiciones controladas**

Plántulas de cinco cm de longitud, seleccionadas al azar de las cajas de germinación, fueron trasplantadas individualmente a vasos de poliestireno de 1 litro, conteniendo sustrato Peatmoss®. Las plántulas se cultivaron como se describió, en cuarto de crecimiento a 25 °C, con fotoperiodo de 16/8 h, bajo una PPF de 250  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Los valores de PPF fueron seleccionados para promover efectos

positivos en el crecimiento y evitar la aparición de intumescencia (Fan *et al.*, 2013; Cruz & Gómez, 2022).

Se empleó un diseño de bloques completamente al azar, con tres repeticiones de un arreglo factorial 2x3x4 (Tabla 1), con tres programas de riego: riego cada cuatro (T2, T4 y T6) o siete días (T3, T5 y T7), y un control positivo (T1), que implicaba un riego constante según fuera necesario para mantener la humedad saturada del sustrato. El hidrogel se aplicó en cuatro tratamientos: sin hidrogel (T1) o con tres concentraciones diferentes añadidas: 0.5 g (T2 y T3), 1.5 g (T4 y T5) y 2.0 g (T6 y T7). La unidad experimental consistió en cinco plántulas. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza, y las medias se compararon mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) con el programa estadístico StatSoft Statistica7.

**Tabla 1. Tratamientos de irrigación y con hidrogel en plántulas de jitomate cultivadas bajo condiciones de cuarto de cultivo.**

Tratamiento	Hidrogel (g·kg <sup>-1</sup> de sustrato)	Frecuencia de riego (días)
T1	0	As needed
T2	0.5	4
T3	0.5	7
T4	1.5	4
T5	1.5	7
T6	2.0	4
T7	2.0	7

### Medición de parámetros del desarrollo, hídricos y fotosintéticos

Las mediciones de la altura, el diámetro del tallo, el número de hojas, la tasa fotosintética neta (AN), la concentración de clorofila por área foliar (SPAD-U), la conductancia estomática (Gs), la tasa de transpiración (E), la concentración intercelular de CO<sub>2</sub> (Ci) y la eficiencia fotosintética en el uso del agua (WUE) se realizaron en tres plántulas representativas cultivadas por cinco semanas en el cuarto de crecimiento (con riego bajo condiciones de vivero, como se describió anteriormente). El contenido de clorofila se evaluó en mediante tres lecturas SPAD tomadas en la hoja terminal más joven, adyacente a la hoja terminal expandida completamente más reciente (SPAD-U), utilizando un modelo SPAD Minolta. La tasa fotosintética neta (AN), la conductancia estomática (Gs) y la tasa de transpiración (E) se midieron en hojas jóvenes completamente expandidas utilizando el analizador de gases LI-6800 Portable Photosynthesis System (LICOR LI-6400, Nebraska, Estados Unidos). Para garantizar un intercambio de gases adecuado, la densidad de flujo de fotones se fijó en 1,500  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , y la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> se fijó en 400  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{mol}^{-1}$ . La eficiencia en el uso del agua fotosintética (WUE) se calculó a partir de los datos obtenidos de (AN) y (E) (relación AN/E).

## Resultados y discusión

### Efecto de la Adición de Hidrogel en Parámetros el Desarrollo de Plántulas de Jitomate

La aplicación de hidrogel de poliacrilato de potasio al sustrato de las plántulas regadas durante cinco semanas en la etapa de vivero promovió un ligero pero significativo aumento de la altura de las plántulas de jitomate (Figura 1A), particularmente a bajas concentraciones, y un aumento del diámetro del tallo (Figura 1B) en todos los patrones de riego y dosis de hidrogel. El uso de hidrogel también incrementó el número de hojas, independientemente de la cantidad aplicada y, en menor medida, el número de ramas, especialmente en la menor cantidad de hidrogel (Figuras 2A y 2B, respectivamente). Hubo diferencias mínimas en estos parámetros del desarrollo si las plántulas tratadas con hidrogel fueron regadas cada 4 o 7 días.

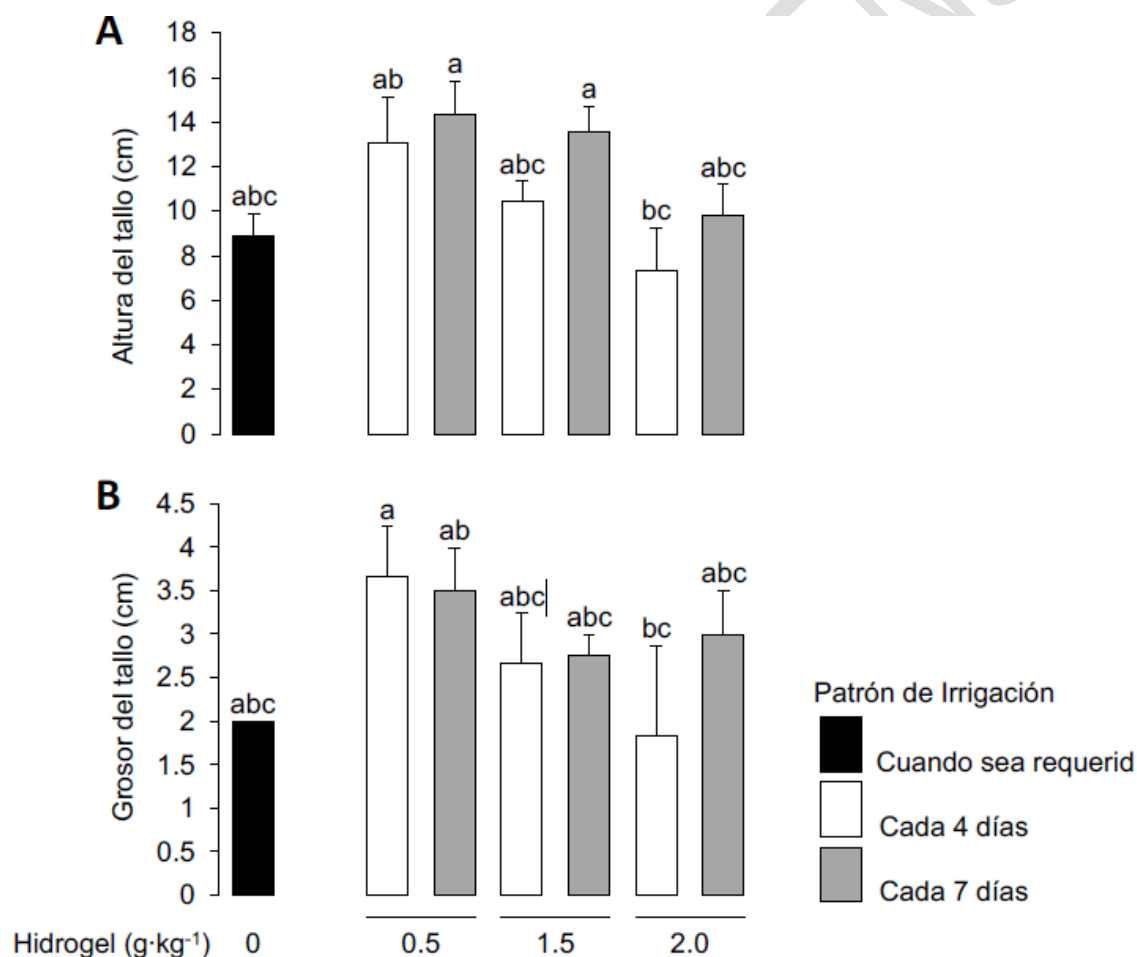
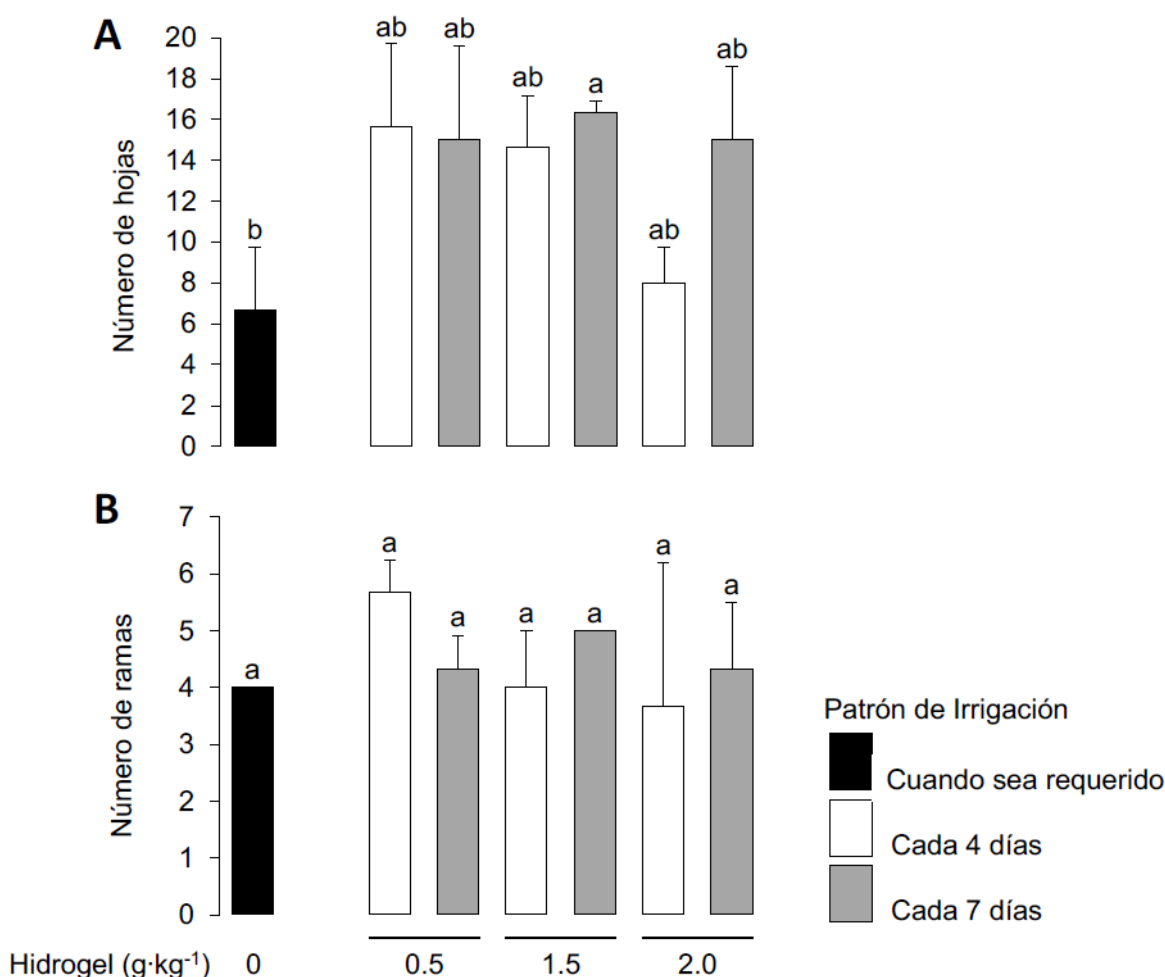


Figura 1. Efecto del hidrogel en la altura y el grosor de los tallos de las plántulas de jitomate.

A) altura del tallo, B) diámetro del tallo.



**Figura 2. Efecto del hidrogel en el número de hojas y tallos en plántulas de jitomate.**

A) número de hojas, B) número de ramas.

Reportes publicados de los efectos del hidrogel sobre parámetros de desarrollo de especies hortícolas y leñosas han demostrado resultados controversiales. Rivera Fernández & Gallo (2018) encontraron que la adición de diferentes dosis de hidrogel de poliácridamida de potasio a plantas de *Capsicum annuum* cultivadas en suelo de tipo fluvisol redujo las necesidades de agua de riego, pero no tuvo efectos estadísticamente significativos sobre la altura de las plantas. Cárdenas (2013) reportó que la adición de hidrogel (presumiblemente poliácridamida de potasio) al momento del trasplante no afectó la altura del tallo de plántulas de *Guazuma rinite*, *Pinus tecunumanii* o *Cedrela fissilis*. Adicionalmente, Anaya (2019) reportó que ni el crecimiento vegetativo o la biomasa de *Cariniana pyriformis* fueron afectados por la aplicación de hidrogel, siempre y cuando la humedad del suelo se mantuviera al 60 % de la capacidad de campo, probablemente debido a la tolerancia de la especie al estrés hídrico. Por el contrario, Melo *et al.* (2019) demostraron que el hidrogel de montmorillonita cálcica mejoró el área y el volumen radicular, así como el diámetro radicular de las plántulas de jitomate, pero no afectó la altura de las plántulas, el diámetro de brotes, el área foliar o el número de hojas. Se ha observado efectos positivos de los hidrogeles en la germinación y el crecimiento de *Solanum*

*lycopersicum*, *Zea mays*, *Coffea arabica* e *Impatiens walleriana* (Nagaraj Gokavi *et al.*, 2018; Prisa & Guerrini, 2022), pero en algunos casos, el volumen de riego se mantuvo sin cambios (Barbaro *et al.*, 2015).

### **Efecto de la Adición de Hidrogel Sobre el Potencial Hídrico y la Actividad Fotosintética en Plántulas de Jitomate**

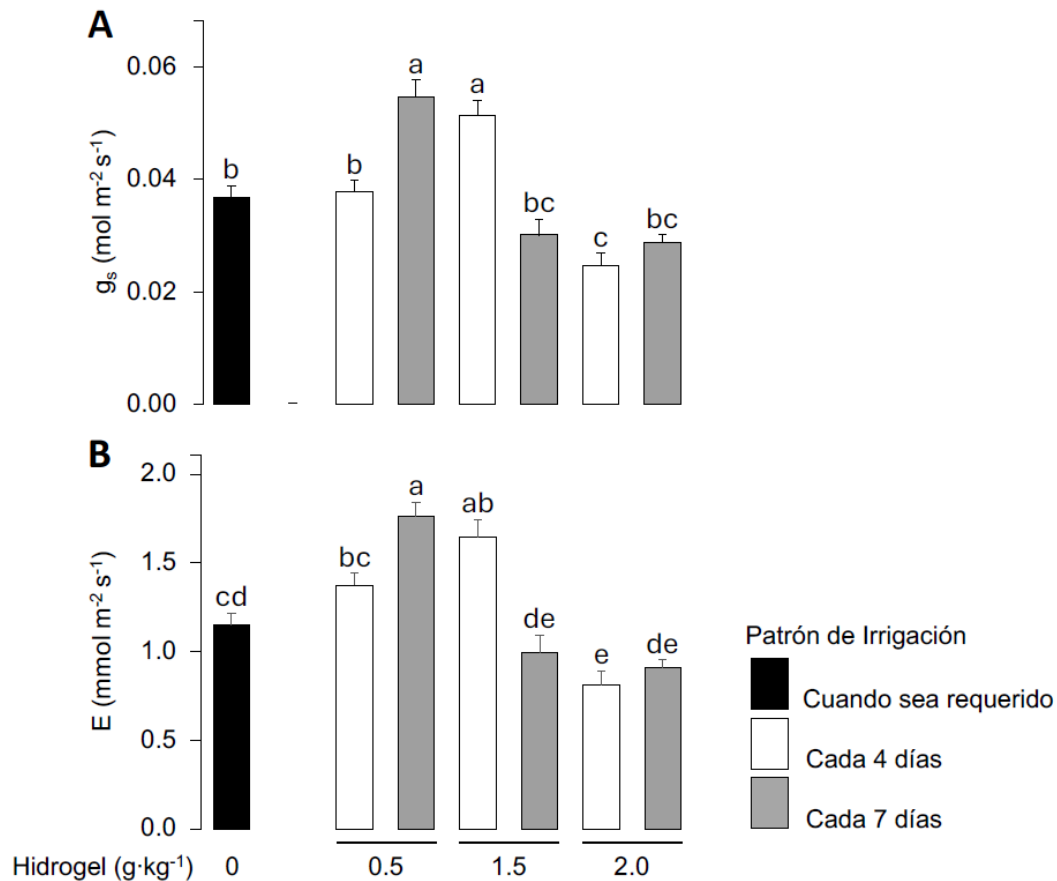
El estrés hídrico en las plantas puede conducir a la reducción de la tasa fotosintética, provocada por el cierre estomático, y al aumento de la incidencia de daño fotooxidativo, causado por la generación de especies reactivas de oxígeno (Qiao *et al.*, 2024).

Con respecto al potencial hídrico y los parámetros fotosintéticos, los resultados del presente trabajo mostraron que, en comparación con el tratamiento control, la aplicación de hidrogel de poliacrilato de potasio a plántulas de jitomate en condiciones de vivero mejoró la conductancia estomática (Gs) (Figura 3A) y la tasa de transpiración (E) (Figura 3B) a dosis bajas, pero no a dosis altas. La conductancia estomática y la tasa de transpiración se modificaron ligeramente, de forma diferencial, cuando las plántulas se regaron cada 4 o 7 días (Figura 3A y 3B). La concentración de clorofila por área foliar (unidades SPAD) mejoró significativamente a dosis más altas del hidrogel, sin diferencias claras entre los dos patrones de riego (Figura 4A). En contraste, se observó un incremento claro en la tasa fotosintética neta (AN) (Figura 4B) y en la eficiencia fotosintética del uso del agua (WUE) (Figura 5A) con las dosis más altas, pero no con las más bajas de hidrogel. La aplicación de hidrogel no afectó la concentración intercelular de CO<sub>2</sub> (Ci) en ninguna dosis o patrón de irrigación (Figura 5B).

El efecto del hidrogel sobre el potencial hídrico y la actividad fotosintética observado en este trabajo son acordes con los hallazgos de Jamnická *et al.* (2013), quienes demostraron que el uso de hidrogel mejoró las tasas de asimilación de CO<sub>2</sub> y la eficiencia instantánea del uso del agua en plantas de *Fagus sylvatica* expuestas a sequía severa, influyendo en el crecimiento de la planta y la acumulación de biomasa. Los autores sugirieron que la aplicación de hidrogel al suelo mejoró el rendimiento fotosintético de las plántulas de *Fagus sylvatica* sometidas a estrés por sequía.

El efecto negativo de la sequía sobre la eficiencia fotosintética y los parámetros hídricos ha sido ampliamente documentado; sin embargo, sigue siendo controvertido si la sequía y/o el estrés salino limitan la fotosíntesis a través de la difusión de CO<sub>2</sub> o causando un deterioro metabólico. Correia *et al.* (2021) demostraron que la regulación eficiente de la asimilación de CO<sub>2</sub> sostiene la eficiencia fotosintética y permite la resiliencia a la sequía en el maíz. Albert *et al.* (2011) demostraron que en condiciones de alta sequía, la interacción entre el nivel de sequía y la concentración de CO<sub>2</sub> reguló antagónicamente a la baja la fotosíntesis en *Calluna vulgaris*. Los resultados reportados por Tezara *et al.* (2005) indicaron que la sequía redujo la tasa fotosintética neta y la eficiencia de carboxilación en hojas de *Ipomea carnea* y *Jatropha gossypifolia*; debido a que se observó una reducción en el contenido total de clorofila con la sequía, sus hallazgos sugirieron que la fotoinhibición impuso una limitación significativa en la asimilación de carbono durante la sequía, por lo que la regulación

metabólica podría ser más importante que el cierre estomático en la respuesta a las condiciones de sequía en estas especies. Zhang *et al.* (2018) demostraron que el cierre estomático bajo estrés hídrico severo condujo a una reducción en la actividad fotosintética y la asimilación de CO<sub>2</sub>. En cebada, la menor disponibilidad de CO<sub>2</sub> en condiciones de sequía limita la capacidad fotosintética, lo que puede deberse a la menor conductancia estomática (Lv *et al.*, 2023). Esto sugiere que el cierre estomático es probablemente el principal factor que reduce la disponibilidad de CO<sub>2</sub> en los cloroplastos durante la sequía; sin embargo, las mediciones basadas en la respuesta fotosintética al CO<sub>2</sub> de los cloroplastos confirman a menudo que la capacidad fotosintética se conserva, pero la fotosíntesis está limitada por las resistencias difusionales en las hojas sometidas a estrés por sequía. El estrés por sequía afecta a la difusión de CO<sub>2</sub> en las hojas al disminuir la conductancia estomática, pero no altera la capacidad bioquímica de las hojas para asimilar CO<sub>2</sub>; por tanto, es posible que las resistencias difusionales establezcan el límite de las tasas de fotosíntesis.



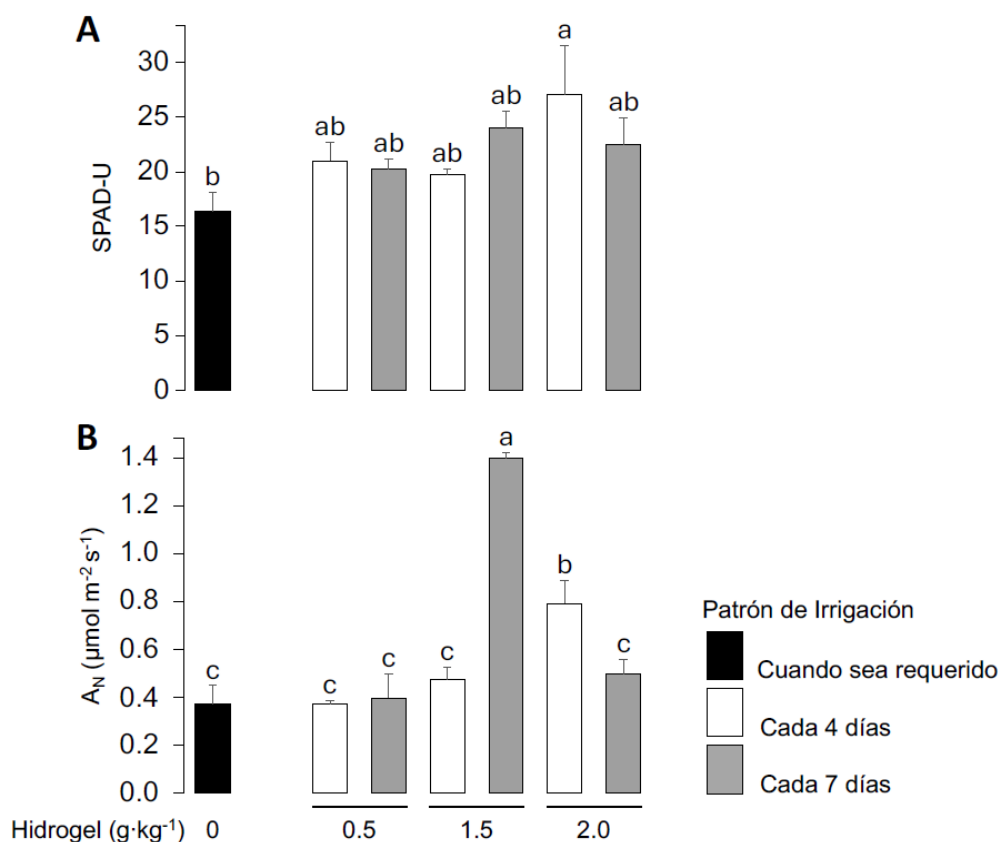
**Figura 3. Efecto del hidrogel en la conductancia estomática y la tasa de transpiración en plántulas de jitomate. A) conductancia estomática ( $g_s$ ), B) tasa de transpiración ( $E$ ).**

El aumento de la conductancia estomática observado en el presente trabajo, que podría asegurar el suministro de CO<sub>2</sub>, junto con los aumentos de la tasa de transpiración y la eficiencia del uso fotosintético del agua, podrían explicar por qué las

plántulas de jitomate en condiciones de vivero mostraron mayores tasas fotosintéticas netas y mantuvieron concentraciones normales de CO<sub>2</sub> intracelular cuando se añadió hidrogel al sustrato.

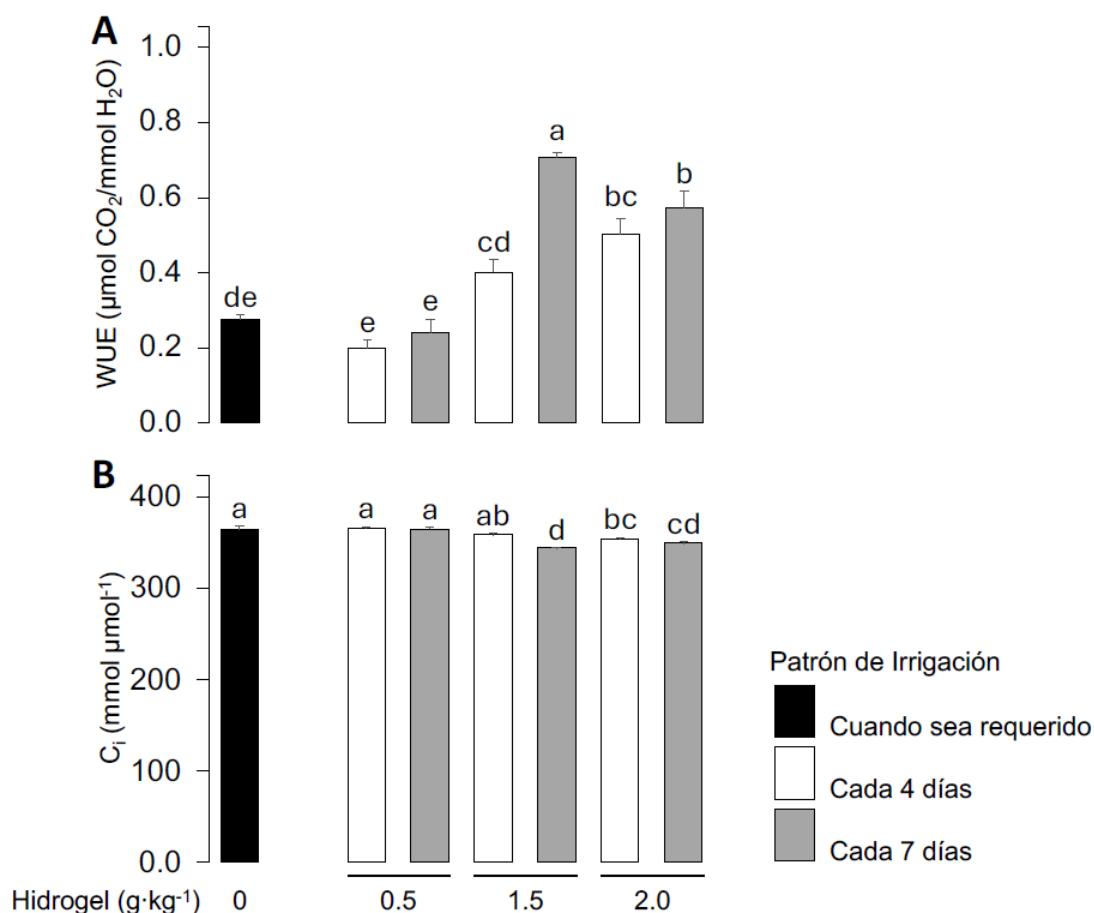
### Efecto de la Adición de Hidrogel en el Volumen de Agua de Riego

Como se preveía, el uso de hidrogel durante las cinco semanas en condiciones de vivero dio lugar a una reducción del volumen de agua necesario para mantener la capacidad saturada del sustrato Peatmoss®, en función del patrón de riego. Las plántulas testigo se regaron diariamente con la cantidad de agua necesaria para mantener el sustrato completamente saturado, requiriendo un medio de 1,216 ± 25.02 mL por plántula durante el periodo de vivero de cinco semanas. En cambio, las plántulas tratadas con hidrogel necesitaron una media de 290 ± 6.7 mL por plántula cuando se regaron cada cuatro días, y 390 ± 8 mL por plántula cuando se regaron cada siete días. Estas cantidades representan aproximadamente el 23.8 % y el 32 % del volumen de agua aplicado a las plántulas de control, respectivamente, para mantener la capacidad de campo saturado del sustrato. Estos resultados están en concordancia con los resultados reportados por Fernández *et al.* (2018), quienes encontraron que la aplicación de 2.0 y 2.5 g hidrogel por planta redujo los volúmenes de agua de riego de alrededor del 49 %, sin afectar los parámetros de desarrollo.



**Figura 4. Efecto del hidrogel en la concentración de clorofila/área foliar y la tasa fotosintética neta en plántulas de jitomate.** A) concentración de clorofila/área foliar (SPAD-U), B) tasa fotosintética neta (A<sub>N</sub>).

El déficit hídrico es considerado como una limitación importante para la productividad de los cultivos (Bhattacharya & Bhattacharya, 2021). El beneficio del uso de hidrogeles en la reducción del volumen de agua aplicada a los cultivos está bien documentado, incluyendo la mejora de la resistencia de las plantas a la sequía, sirviendo como reservorios de nutrientes y mejorando las tasas de éxito del trasplante (Kaur *et al.*, 2023). El uso de hidrogeles mejora las propiedades físicas y biológicas del suelo (Saini & Malve, 2022), disminuye los costos del riego y aumenta los intervalos de riego (Oladosu *et al.*, 2022). Sin embargo, dependiendo de la especie vegetal y del tipo de sustrato, la aplicación de hidrogeles puede dar resultados controvertidos; por ejemplo, Ortega-Torres *et al.* (2020) demostraron que la aplicación de hidrogel de poliacrilato de potasio a plantas de *Solanum lycopersicum* y *Cucumis sativus* aumentó el rendimiento y permitió reducir el volumen de riego, mientras que en otras especies, la adición de hidrogel no afectó el volumen de riego (Cárdenas, 2013; Barbaro *et al.*, 2015).



**Figura 5. Efecto del hidrogel en la eficiencia del uso de agua fotosintética y la concentración intercelular de CO<sub>2</sub> en plántulas de jitomate. A) concentración de clorofila/área foliar (WUE), B) tasa fotosintética neta (C<sub>i</sub>).**

## Conclusión

La aplicación de un hidrogel de acrilato de potasio al sustrato afectó positivamente parámetros fisiológicos y del desarrollo de plántulas de jitomate cultivadas por cinco semanas en un cuarto de crecimiento, en función de la cantidad de hidrogel aplicada. El uso de hidrogel condujo a una reducción significativa del agua de riego, sin afectar negativamente a los parámetros de crecimiento ni al estado fisiológico de las plántulas. Debido a que las plántulas de jitomate tratadas con hidrogel mejoraron parámetros fotosintéticos e hídricos sin alterar la concentración intracelular de CO<sub>2</sub>, se concluye que el hidrogel es una opción viable para el uso agrícola.

## Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, FJAB, JJZA; desarrollo de la metodología, JAPC, RML.; validación experimental, FJAB, RGH, JJZA.; análisis de resultados, JAPC, RML, FJAB, RGH, JJZA.; manejo de datos, RGH, JJZA.; escritura y preparación del manuscrito, RGH, JJZA.; escritura, revisión y edición, JAPC, RML, FJAB, RGH, JJZA.; administrador del proyecto, JJZA.; adquisición de fondos, JJZA. “Todos los autores del manuscrito han leído y aceptado la versión pública de este”.

## Financiamiento

Esta investigación fue financiada con fondos propios.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer el uso de las instalaciones y el apoyo logístico del Tecnológico Nacional de México, Campus de los Ríos; a la M.C. Elidé Aviles-Berzunza por su asistencia técnica; al Mtro. Gabriel Ruiz Arcos por su ayuda con los análisis estadísticos; y a la M.E.I. Zettell Anaid Rivas Nieto por la revisión de la versión en inglés del manuscrito.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

## Referencias

- Albert, K. R., Ro-Poulsen, H., Mikkelsen, T. N., Michelsen, A., Van Der Linden, L., & Beier, C. (2011). Effects of elevated CO<sub>2</sub>, warming and drought episodes on plant carbon uptake in a temperate heath ecosystem are controlled by soil water status. *Plant, Cell & Environment*, 34(7), 1207-1222. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02320.x>
- An, C. B., & Shin, J. H. (2021). Comparison of Rockwool, Reused Rockwool and Coir Medium on Tomato (*Solanum lycopersicum*) Growth, Fruit Quality and Productivity in Greenhouse Soilless Culture. *Journal of Bio-Environment Control*, 30(3), 175-182. <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2021.30.3.175>
- Anaya, I. V. R. (2019). Uso de hidrogel en plántulas de *Cariniana pyriformis* sometidas a diferentes regímenes. [Tesis de Licenciatura, Universidad Industrial de Santander]. <https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/35682/35682.pdf?sequence=5>
- Barbaro, L. A., Karlanián, M. A., & Leguizamón, D. S. (2015). Efecto del uso de hidrogel en un sustrato formulado con turba Sphagnum y otro con turba subtropical para la producción de plantines de *Impatiens walleriana*. *Agriscientia*, 32(2), 123-129. <http://www.scielo.org.ar/pdf/agrisc/v32n2/v32n2a05.pdf>

- Bhattacharya, A., & Bhattacharya, A. (2021). Dry matter production, partitioning, and seed yield under soil water deficit: a review. *Soil Water Deficit and Physiological Issues in Plants*, 585-702. [https://doi.org/10.1007/978-981-33-6276-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-33-6276-5_7)
- Cárdenas, E. (2013). Efecto de hidrogel en el crecimiento inicial de *Guazuma crinita* Mart., *Pinus tecunumanii* (Eguiluz & Perry) y *Cedrela fissilis* Vell.-distrito de Pichanaqui (Doctoral dissertation, Tesis Ing. en Ciencias Agrarias. Huancayo, Perú. Universidad Nacional del Centro del Perú). <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3982>
- Correia, P. M., da Silva, A. B., Vaz, M., Carmo-Silva, E., & Marques da Silva, J. (2021). Efficient regulation of CO<sub>2</sub> assimilation enables greater resilience to high temperature and drought in maize. *Frontiers in plant science*, 12, 675546. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.675546>
- Crous, J. W. (2017). Use of hydrogels in the planting of industrial wood plantations. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 79(3), 197-213. <https://doi.org/10.2989/20702620.2016.1221698>
- Cruz, S., & Gómez, C. (2022). Effects of daily light integral on compact tomato plants grown for indoor gardening. *Agronomy*, 12(7), 1704. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071704>
- El-Asmar, J., Jaafar, H., Bashour, I., Farran, M. T., & Saoud, I. P. (2017). Hydrogel banding improves plant growth, survival, and water use efficiency in two calcareous soils. *CLEAN—Soil, Air, Water*, 45(7), 1700251. <https://doi.org/10.1002/clen.201700251>
- El Idrissi, A., Dardari, O., Metomo, F. N. N. N., Essamlali, Y., Akil, A., Amadine, O., ... & Zahouily, M. (2023). Effect of sodium alginate-based superabsorbent hydrogel on tomato growth under different water deficit conditions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 127229. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127229>
- Fan, X. X., Xu, Z. G., Liu, X. Y., Tang, C. M., Wang, L. W., & Han, X. L. (2013). Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Scientia horticulturae*, 153, 50-55. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.01.017>
- Fernández, R. D. R., Jarama, F. R., Gallo, F. M., & Intriago, D. A. M. (2018). Hydrogel for improving water use efficiency of *Capsicum annuum* crops in Fluvisol soil. *Revista De La Facultad De Ciencias Agrarias UNCuyo*, 50(2), 23-31. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs/index.php/RFCFA/article/view/2915>
- Fiasconaro, M. L., Abrile, M. G., Hintermeister, L., Antolin, M. D. C., & Lovato, M. E. (2022). Application of different doses of compost as a substitution of the commercial substrate in nursery for pepper and tomato seedlings. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 11(4). <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2021.1921803.1195>
- Gustavo-González, L., Paz-Martínez, I., Boicet-Fabré, T., Jiménez-Arteaga, M. C., Falcón-Rodríguez, A., & Rivas-García, T. (2021). Efecto del tratamiento de semillas con QuitoMax® en el rendimiento y calidad de plántulas de tomate variedades ESEN y L-43. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-6. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.803>
- Jamnická, G., Ditmarová, L., Kurjak, D., Kmeť, J., Pšidová, E., Macková, M., ... & Střelcová, K. (2013). The soil hydrogel improved photosynthetic performance of beech seedlings treated under drought. *Plant, Soil and Environment*, 59(10), 446-451. <https://doi.org/10.17221/170/2013-PSE>
- Kaur, P., Agrawal, R., Pfeffer, F. M., Williams, R., & Bohidar, H. B. (2023). Hydrogels in agriculture: Prospects and challenges. *Journal of Polymers and the Environment*, 31(9), 3701-3718. <https://doi.org/10.1007/s10924-023-02859-1>
- Lv, X., Li, Y., Chen, R., Rui, M., & Wang, Y. (2023). Stomatal responses of two drought-tolerant barley varieties with different ROS regulation strategies under drought conditions. *Antioxidants*, 12(4), 790. <https://doi.org/10.3390/antiox12040790>
- Mariño, Y. A. (2014). Respuesta fotosintética de *Coffea arabica* L. a diferentes niveles de luz y disponibilidad hídrica. *Acta Agronómica*, 63(2), 128-135. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.38454>
- Melo, R. A., Jorge, M. H., Bortolin, A., Boiteux, L. S., Oliveira, C. R., & Marconcini, J. M. (2019). Growth of tomato seedlings in substrates containing a nanocomposite hydrogel with calcium montmorillonite (NC-MMt). *Horticultura Brasileira*, 37, 199-203. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620190210>
- Moncada, A., Vetrano, F., Esposito, A., & Miceli, A. (2020). Fertigation management and growth-promoting treatments affect tomato transplant production and plant growth after transplant. *Agronomy* 2020, 10(10), 1504. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101504>
- Mudhanganyi, A., Ndagurwa, H. G., Maravanyika, C., & Mwase, R. (2018). The influence of hydrogel soil amendment on the survival and growth of newly transplanted *Pinus patula* seedlings. *Journal of Forestry Research*, 29, 103-109. <https://doi.org/10.1007/s11676-017-0428-1>
- Nagaraj Gokavi, R., Mote, K., Mukharib, D. S., Manjunath, A. N., & Raghuramulu, Y. (2018). Performance of hydrogel on seed germination and growth of young coffee seedlings in nursery. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7, 1364-1366. <https://www.phytojournal.com/archives/2018/vol7issue3/PartS/7-2-599-636.pdf>

- Oagile, O., Gabolemogwe, P., Matsuane, C., & Mathowa, T. (2016). Effect of container size on the growth and development of tomato seedlings. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(4), 890-896. <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2016.504.100>
- Oladosu, Y., Rafii, M. Y., Arolo, F., Chukwu, S. C., Salisu, M. A., Fagbohun, I. K., ... & Haliru, B. S. (2022). Superabsorbent polymer hydrogels for sustainable agriculture: A review. *Horticulturae*, 8(7), 605. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070605>
- Ortega-Torres, A. E., Flores Tejeida, L. B., Guevara-González, R. G., Rico-García, E., & Soto-Zarazúa, G. M. (2020). Potassium acrylate hydrogel as a substrate in cucumber and tomato cultivation. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1447-1455. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2222>
- Ortiz-García, T., Rapado-Paneque, M., & Peniche-Covas, C. (2021). Hidrogeles superabsorbentes basados en poli(acrilamida) para aplicación agrícola: estudio de hinchamiento. *Revista Cubana de Química*, 33(2), 46-68. <https://www.redalyc.org/journal/4435/443568186003/html/>
- Prisa, D., & Guerrini, G. (2022). Hydrogel application in the germination and growth of *Zea mays* and *Solanum lycopersicum* seedlings. *GSC Advanced Research and Reviews*, 12(3), 26-32. <https://doi.org/10.30574/gscarr.2022.12.3.0233>
- Qiao, M., Hong, C., Jiao, Y., Hou, S., & Gao, H. (2024). Impacts of Drought on Photosynthesis in Major Food Crops and the Related Mechanisms of Plant Responses to Drought. *Plants*, 13(13), 1808. <https://doi.org/10.3390/plants13131808>
- Riikonen, J., & Luoranen, J. (2018). Seedling production and the field performance of seedlings. *Forests*, 9(12), 740. <https://doi.org/10.3390/f9120740>
- Rivera Fernández, R. D., & Gallo, F. M. (2018). Absorción de agua de hidrogel de uso agrícola y su humedecimiento de tres tipos de suelo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 50(2), 15-21. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1853-86652018000200002&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652018000200002&lng=es&nrm=iso)
- Russo, V. M. (2005). Organic vegetable transplant production. *HortScience*, 40(3), 623-628. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.3.623>
- Saini, A. K., & Malve, S. H. (2023). Impact of Hydrogel on Agriculture-A review. *Ecology, Environment and Conservation*, 29, S36-S47. <http://doi.org/10.53550/EEC.2023.v29i01s.007>
- Sánchez-del Castillo, F., Moreno-Pérez, E. D. C., Morales-Maza, A., Peña-Lomelí, A., & Colinas-León, M. T. (2012). Densidad de población y volumen de sustrato en Plántulas de Jitomate (*Lycopersicon lycopersicon* Mill.). *Agrociencia*, 46(3), 255-266. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v46n3/v46n3a5.pdf>
- Sharma, A., Khar, S., Chaudhary, D., & Thakur, P. (2023). Study of biometric attributes of plug type tomato seedlings pertinent to transplanter design. *Indian Journal of Ecology*, 50(2), 503-507. <https://doi.org/10.55362/IJE/2023/3926>
- Tezara, W., Marín, O., Rengifo, E., Martínez, D., & Herrera, A. (2005). Photosynthesis and photoinhibition in two xerophytic shrubs during drought. *Photosynthetica*, 43, 37-45. <https://doi.org/10.1007/s11099-005-7045-5>
- Tomášková, I., Svatoš, M., Macků, J., Vanická, H., Resnerová, K., Čepl, J., ... & Dohrenbusch, A. (2020). Effect of different soil treatments with hydrogel on the performance of drought-sensitive and tolerant tree species in a semi-arid region. *Forests*, 11(2), 211. <https://doi.org/10.3390/f11020211>
- Zhang, Q., Phillips, R. P., Manzoni, S., Scott, R. L., Oishi, A. C., Finzi, A., ... & Novick, K. A. (2018). Changes in photosynthesis and soil moisture drive the seasonal soil respiration-temperature hysteresis relationship. *Agricultural and Forest Meteorology*, 259, 184-195. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.05.005>