

UTILIZACIÓN DE HIDROGEL NANOCOMPUESTO CON N-UREA EN SUSTRATO PARA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE PIMENTÓN

Raphael Augusto de Castro e Melo¹, Nicole-Marie dos Santos Butruille²,
Marçal Henrique Amici Jorge¹ y Sabrina Magaly Navas Cajamarca²

RESUMEN

El pimentón es una de las hortalizas de mayor importancia económica en el mundo, al igual que en Brasil. En su cultivo, la formación de plántulas de calidad es esencial para la obtención de plantas vigorosas y productivas. La técnica de adición de hidrogeles como acondicionadores hídricos y proveedores de nutrientes viene siendo utilizada con ese propósito, presentando resultados prometedores. El objetivo de este trabajo fue evaluar la utilización de un hidrogel nanocompuesto con propiedades de liberación controlada de N-urea en la producción de plántulas de pimentón. Se estableció un experimento con un diseño experimental de bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en el uso de 6 g·L⁻¹ del polímero, con hidrogel puro (HP) y proporciones de hidrogel nanocompuesto con N-urea incorporada (HU) que se añadieron al sustrato en concentraciones de 0, 5, 10, 15 y 40 %. Las mayores concentraciones mostraron efectos benéficos para la calidad de las plántulas en cuanto a la altura, área foliar, diámetro del tallo e índice de calidad de Dickson, destacándose la dosis de 40 % de HU.

Palabras clave adicionales: *Capsicum annuum*, fertilizante nitrogenado, hortalizas, polímero

ABSTRACT

Using nanocomposite hydrogel with N-urea in substrates for production of pepper seedlings

Sweet pepper is one of the vegetables of greater economic importance worldwide, and also in Brazil. In its cultivation, the production of quality seedlings is essential for the obtainment of vigorous and productive plants. The technique of adding hydrogels as water-conditioners and nutrient carriers has been used for this purpose with promising results. The objective of this work was to evaluate the use of a nanocomposite hydrogel with controlled release properties of N-urea in the production of pepper seedlings. The trial was established in experimental design of randomized blocks with five treatments and four replicates. The treatments consisted of the use of 6 g·L⁻¹ of the polymer, with pure hydrogel (HP) and proportions of nanocomposite hydrogel incorporated with N-urea (HU), which were added to the substrate in concentrations of 0, 5, 10, 15 and 40 %. The highest concentrations presented beneficial effects on the quality of the seedlings, in variables such as plant height, leaf area, stem diameter and Dickson quality index, with prominence for the doses of 40 % HU.

Additional keywords: *Capsicum annuum*, nitrogen fertilizer, polymer, vegetables

INTRODUCCIÓN

El pimentón (*Capsicum annuum* L.) es un cultivo cosmopolita cuya área cultivada en Brasil supera las 11 mil ha, con una producción de 554.904 Mg en el 2017 (CNA, 2017). El cultivo se puede realizar a campo abierto o en ambiente protegido, aunque las mayores productividades se obtienen en este último, debido al mayor control de las condiciones ambientales y de las labores

culturales; por ejemplo, el máximo rendimiento a campo abierto es de 40 Mg·ha⁻¹ mientras que en cultivo protegido puede alcanzar hasta 180 Mg·ha⁻¹ (Henz et al., 2007). La región del Distrito Federal sobresale como la principal zona productora en cultivo protegido del país (Ragassi y Melo, 2017).

Para la obtención de plantas productivas en campo y cultivo protegido, la formación de plántulas de calidad está directamente relacionada al éxito de la producción hortícola, siendo ésta una

Recibido: Agosto 21, 2018

Aceptado: Abril 17, 2019

¹ Embrapa Hortaliças, Brasília-DF, Brasil. e-mail: raphael.melo@embrapa.br (autor de correspondencia); marcal.jorge@embrapa.br

² Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil. Email: nicbut1606@gmail.com; sabinacajamarca@gmail.com

de las etapas más importantes (Nascimento et al., 2016). Para eso es necesario emplear sustratos con características adecuadas y que resulten eficientes para el manejo del agua y de la nutrición (Gruda et al., 2013).

Una técnica que viene siendo utilizada con ese objetivo es la adición al sustrato de polímeros que funcionan como acondicionadores hídricos al aumentar la capacidad de retención de agua y propiciar una mejor calidad de plántulas (Marques y Bastos, 2010; Bernardi et al., 2012; Braz, 2016). Estos polímeros, que pueden ser naturales o sintéticos, son capaces de absorber gran cantidad de agua en su estructura tridimensional, sin disolverse completamente, formando hidrogeles (Sabadini, 2015).

Con la utilización de fertirriego es común observar exceso de lavado de nutrientes en el sustrato por lo cual muchos viveristas hacen aplicaciones muy frecuentes del fertilizante con la consiguiente pérdida y uso poco eficiente de este insumo (Lima et al., 2012).

La utilización de fertilizantes de liberación lenta o controlada de nutrientes surge como alternativa para aumentar su eficiencia (Serrano et al., 2010). Estos abonos, o "fertilizantes inteligentes", son materiales preparados para liberar los nutrientes de forma gradual, coincidiendo aproximadamente con los requisitos nutricionales de una planta a lo largo de su ciclo (Hanafi et al., 2000). Los materiales poliméricos como los hidrogeles, como base para la liberación controlada de nutrientes, han sido estudiados por su multifuncionalidad y no sólo poseen esta propiedad, sino que también pueden absorber gran cantidad de agua, preservando al mismo tiempo la humedad del suelo o sustrato, (Guo et al., 2005; Bortolin, 2014).

Uno de los nutrientes de posible incorporación a los hidrogeles es el nitrógeno, en el cual comúnmente existen pérdidas por volatilización del amoníaco en el orden de 50 a 80% al aplicar fertilizantes como la urea, lo cual justifica la necesidad de desarrollar alternativas para mejorar su disponibilidad de manera controlada (Cabezas et al., 2000; 2008).

Bortolin et al. (2013) sintetizaron una nueva serie de hidrogeles compuestos por poliacrilamida, metilcelulosa y combinados con arcilla tipo montmorillonita, cuya presencia, además de mejorar algunas propiedades de los materiales,

reduce los costos. Al ser incorporada a este polímero, los autores encontraron que permitió una liberación eficiente y más controlada del fertilizante, en relación al hidrogel puro, y casi 200 veces más lenta que la urea pura. Estos resultados demuestran el gran potencial de aplicación de hidrogeles nanocompuestos como sistemas de liberación gradual y eficiente de nutrientes (Bortolin et al., 2013). Con todo, se requieren más estudios para investigar el comportamiento de la liberación de nutrientes durante el desarrollo de los cultivos, para realizar recomendaciones de uso del producto, especialmente en la producción de plántulas de hortalizas.

En este contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del uso de hidrogel nanocompuesto con propiedades de liberación controlada de N-urea en la producción de plántulas de pimentón.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en cultivo protegido en Embrapa Hortalizas de Brasilia, en el Distrito Federal, Brasil, ubicada a 15°56' S y 48°08' W, 996 msnm. La casa de cultivo utilizada fue del tipo arco en punta con paredes laterales en pendiente, con medidas de 30 m de longitud, 8 m de ancho y altura a la canal de 2,7 m, cubierto con plástico de polietileno de baja densidad de 150 μ m. Se utilizaron semillas de pimentón híbrido Platero (Syngenta) de alta pureza y las plántulas de pimentón fueron evaluadas entre el 2 de febrero y 27 de marzo de 2018. Se utilizó el sustrato comercial Bioplant a base de fibra de coco.

Las bandejas utilizadas contenían 128 celdas con un volumen de 18 cm³. Se estableció un diseño experimental de bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en el uso de 6 g·L⁻¹ del polímero, con hidrogel puro (HP) y diferentes concentraciones del hidrogel nanocompuesto con N-urea (HU) (producido conforme Bortolin et al., 2013) que se añadieron al sustrato. Las concentraciones fueron las siguientes: Dosis 0 % (0 g de HU y 6 g de HP); Dosis 5 % (5,7 g HP + 0,3 g HU); Dosis 10 % (5,4 g HP + 0,6 g HU); Dosis 15 % (5,1 g HP + 0,9 g HU) y Dosis 40 % (3,6 g HP + 2,4 g HU). Las dosis evaluadas no fueron proporcionales ya que hubo una

extrapolación de 15 al 40 %, pues esta última se estableció como un nivel crítico de fitotoxicidad al nitrógeno, tal como se ha observado en plántulas de otras especies de solanáceas según estudios previos no publicados. El riego fue realizado por aspersión tres veces al día en las tres primeras semanas después de la siembra y reducido a dos veces diarias en las semanas siguientes, hasta el análisis final. Durante la ejecución se midieron las siguientes variables climáticas: temperatura (máxima y mínima), humedad relativa (máxima y mínima) y radiación fotosintéticamente activa (RFA) utilizando un registrador Micro Station-Spectrum modelo Watchdog 1000 ubicado dentro de la casa de cultivo.

Las variables analizadas fueron las siguientes: (1) Índice de velocidad de emergencia (IVE) = $P1/N1 + \dots + Pn/Nn$, donde P1... Pn = porcentaje de plántulas normales calculadas en el primer y último conteo, y N1... Nn = número de días de la siembra al primer y último conteo; (2) Altura de plántulas (AP) a los 43 días después de la siembra; se eligieron 10 plantas aleatoriamente por repetición y se midió la altura del cuello hasta el ápice de la planta; (3) Diámetro del tallo (DT), en un procedimiento similar al anterior, fue medido con un calibrador vernier en el tercio medio de las plantas por encima de los cotiledones foliáceos; (4) Número de hojas (NH), en las mismas diez plantas en que se midieron AP y DT se contabilizó el número de hojas por planta, considerando las hojas verdaderas; (5) Masa seca de la parte aérea (MSA) y raíz (MSR) de seis plántulas elegidas, por repetición, fueron colocadas en bolsas de papel y secadas en un horno de flujo laminar, mantenido a una temperatura de 70 °C por 72 horas; (6) ICD o Índice de calidad de Dickson (Dickson et al., 1960), determinado en función de la altura de la parte aérea (AP), diámetro del tallo (DT), y masa seca aérea (MSA) y de raíz (MSR):

$$ICD = \frac{Masa\ seca\ total\ (g)}{\frac{Altura\ (cm)}{Diámetro\ (mm)} + \frac{Masa\ seca\ aérea\ (g)}{Masa\ seca\ de\ raíz\ (g)}}$$

El uso de este índice evita distorsiones provenientes de factores tales como el exceso de nitrógeno, en que puede haber mayor crecimiento foliar en detrimento del radicular (Marana et al., 2008); (7) Área foliar (AF), donde las hojas de seis plantas fueron dispuestas sobre un fondo negro con dimensiones 210 x 297 mm,

digitalizadas por medio de un escáner; las estimaciones de área foliar fueron realizadas por el programa ImageJ, siguiendo el procedimiento establecido por Glozer (2008); (8) Área superficial del sistema radicular (ASR) y (9) Volumen del sistema radicular (VSR), donde las raíces de seis plantas, elegidas en la variable anterior, fueron lavadas y digitalizadas individualmente por medio de escáner, como en AF; las imágenes fueron procesadas y analizadas utilizando el programa Safira o Sistema de Análisis de Fibras y Raíces (Jorge y Rodrigues, 2008); (10) Índice de verdor, evaluado utilizando un medidor SPAD-502 (Minolta); se realizaron cinco lecturas por tratamiento a los 52 días después de la siembra, en el limbo de hojas jóvenes, totalmente expandidas de cinco plantas elegidas aleatoriamente.

Los resultados fueron sometidos al análisis de varianza y los tratamientos en cada variable se compararon mediante regresiones lineales utilizando el programa Speed Stat (Carvalho y Mendes, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aunque dentro de la casa de cultivo la humedad fue alta y las temperaturas máximas superaron los 30 °C durante el ensayo (Figura 1), las plantas no mostraron síntomas de quemaduras u ocurrencia de enfermedades por humedecimiento prolongado del follaje, como lo señalan Grey y Webster (2012). Estos autores afirman que los valores óptimos para la germinación del pimentón están entre 25 y 28°C, pudiendo existir disminución del crecimiento cuando las temperaturas son superiores a 32 °C. De cualquier forma, se desconoce si en nuestro ensayo habría ocurrido dicha reducción, pero si ese fue el caso no impidió la detección de diferencias contundentes entre los respectivos tratamientos.

Con relación a la disponibilidad de luz dentro de la casa de cultivo, los valores de RFA (Figura 1), convertidos a la integral de luz diaria (ILD), superaron el valor mínimo de referencia de 13 mol·m⁻²·d⁻¹ considerado necesario para producir plántulas de hortalizas de buena calidad (Lopez y Runkle, 2017).

Los Cuadros 1 y 2 muestran que para todas las variables analizadas, con excepción de los índices de velocidad de emergencia (IVE) y SPAD, los

tratamientos con las diferentes dosis de hidrogel nanocompuesto con N-urea presentaron diferencias significativas entre sí ($P \leq 0,01$), ($P \leq 0,05$ para la variable diámetro del tallo). Sin embargo, no se

encontró alguna ecuación de regresión que ajustara significativamente en las variables de volumen y área del sistema radicular (VSR y ASR).

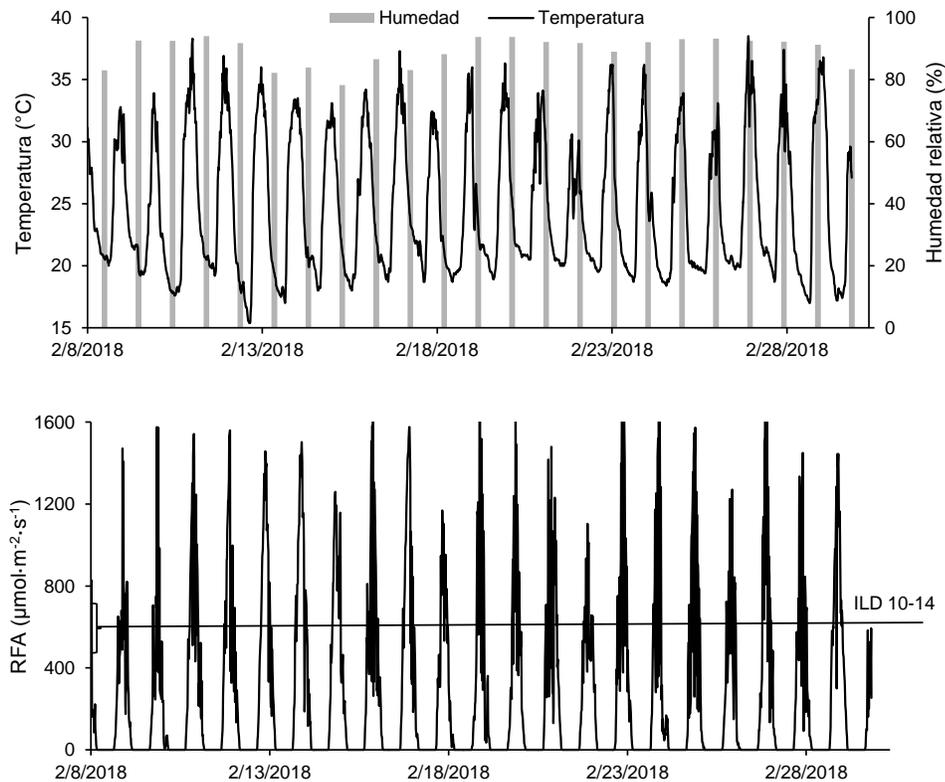


Figura 1. Temperatura, humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa (RFA) dentro de la casa de cultivo durante el período del ensayo

Cuadro 1. Cuadrados medios de variables morfológicas en plántulas de pimentón producidas con el uso de hidrogel nanocompuesto con N-urea

	FV	AP	DT	NH	AF	MSA	MSR	VSR	ASR
Tratamientos		37,84**	1,23*	8,65**	1204,95**	0,04**	0,01**	1,94**	4186,20**
Error		1,17	0,03	0,30	37,48	0,00	0,00	0,04	40,78
CV		13,71	8,19	11,65	26,62	25,00	23,78	19,93	11,59

AP: Altura de plántulas; DT: diámetro de tallo; NH: número de hojas; AF: área foliar; MSA: masa seca de la parte aérea; MSR: masa seca de raíces; VSR: volumen del sistema radicular; ASR: área del sistema radicular. *: $P \leq 0,05$; **: $P \leq 0,01$;

Cuadro 2. Cuadrados medios de índices morfométricos en plántulas de pimentón producidas con el uso de hidrogel nanocompuesto con N-urea

	FV	IVE	ICD	SPAD
Tratamientos		2,99 ns	0,00 **	39,56 ns
Error		4,73	0,00	13,23
CV		22,19	21,80	12,31

IVE: índice de velocidad de emergencia; ICD: índice de calidad de Dickson; SPAD: índice de verdor. **: $P \leq 0,01$; ns: no significativo

Castro e Melo et al. Hidrogel nanocompuesto con N-urea en sustrato para pimentón

La respuesta del IVE no fue influenciada significativamente por las dosis de HU (Cuadros 2 y 3), confirmando que su presencia en el sustrato no causó acción inhibitoria en las plántulas de pimentón. Tampoco hubo respuesta diferenciada del índice SPAD ante las diferentes dosis de HU

(Cuadros 2 y 3). Los valores encontrados son cercanos a los obtenidos por Paul y Metzger (2005) y Olaria et al. (2016), quienes señalaron un rango entre 25 y 30 unidades SPAD para plántulas de pimentón.

Cuadro 3. Volumen del sistema radicular (VSR), área del sistema radicular (ASR) e índice de velocidad de emergencia (IVE) a los 43 días después de la siembra, e índice de verdor (SPAD) a los 52 días, en pimentón, con el uso de diferentes dosis de hidrogel nanocompuesto con N-urea (HU)

Dosis de HU (%)	VSR ¹	ASR ¹	IVE ^{ns}	SPAD ^{ns}
0	0,32	25,33	9,89	29,08
5	1,26	72,06	10,83	34,27
10	0,29	16,65	10,34	30,45
15	1,40	70,05	9,30	25,72
40	1,87	91,30	8,62	28,29

¹: No se ajustaron a una ecuación de regresión significativa; ns: no significativo según la prueba de F ($P > 0,05$)

El proceso de germinación y desarrollo de las plántulas y raíces en presencia del hidrogel en el sustrato ocurrió con normalidad y no se presentaron efectos no beneficiosos como los que han sido señalados en las investigaciones de Fonteno y Bilderback (1993) y Braz (2016). En la primera de ellas, los autores afirman que diversos factores pueden afectar la efectividad de hidrogeles, tales como restricciones físicas a la expansión por el sustrato y la presencia de otras sustancias químicas en él.

Existió un comportamiento inesperado en el tratamiento con la dosis de 10 % de HU, pues las respuestas de las variables analizadas fueron siempre muy bajas y fuera de la tendencia general (Figuras 2 a 5, además de las variables VSR y ASR en el Cuadro 3). No se dispone de una explicación apropiada para este resultado, pero pudiera atribuirse a una desuniformidad o alteración en la incorporación del tratamiento al sustrato. A pesar de ello, fue evidente el incremento sostenido que se produjo en las variables de AP, DT, NH, MSA, MSR, AF e IDT conforme aumentaron las dosis de HU.

En el caso de la altura de las plántulas se encontró un ajuste lineal significativo con relación a las dosis ($R^2=0,81$; $P \leq 0,01$) y se alcanzaron valores de hasta 12,13 cm cuando se aplicó la dosis de 40 %, casi tres veces mayor que con la dosis control (Figura 2). Henz et al.

(2007) señalan como deseable una altura de 10 cm en el momento del trasplante, valores comparativos a los obtenidos en nuestra investigación con la dosis mayor de HU. De acuerdo con Luna et al. (2014), la producción de plántulas mayores a 15 cm no es conveniente ya que el viento puede romper el tallo, además que plántulas muy altas demandan mayor cantidad de agua y las raíces pueden ser insuficientes para sostener a la planta en los primeros días del trasplante.

Se observó un ajuste lineal del diámetro del tallo con relación a las dosis ($R^2=0,84$; $P \leq 0,01$), donde la dosis de 40 % fue el tratamiento en el que se presentó el mayor diámetro, con 2,94 mm, dos veces mayor que en la dosis control (Figura 3). Los tallos gruesos pueden ser demostrativos de plantas vigorosas, representando una menor probabilidad de que la plántula se doble durante el trasplante y promueva mayor porcentaje de enraizamiento (Luna et al., 2014).

En cuanto al número de hojas, las plántulas con la dosis control presentaron aproximadamente tres hojas mientras que el número fue de siete hojas con la dosis de 40 % (Figura 4). Este valor es superior al encontrado por Marques y Bastos (2010) quienes obtuvieron menor número de hojas (aproximadamente tres por planta) al utilizar dosis de 2 g de hidrogel por kilogramo de sustrato. Los resultados de nuestro trabajo se aproximan a los

señalados por Henz et al. (2007) quienes recomiendan de cinco a seis hojas en plántulas

listas para el trasplante como estándar para la región de Brasília-DF.

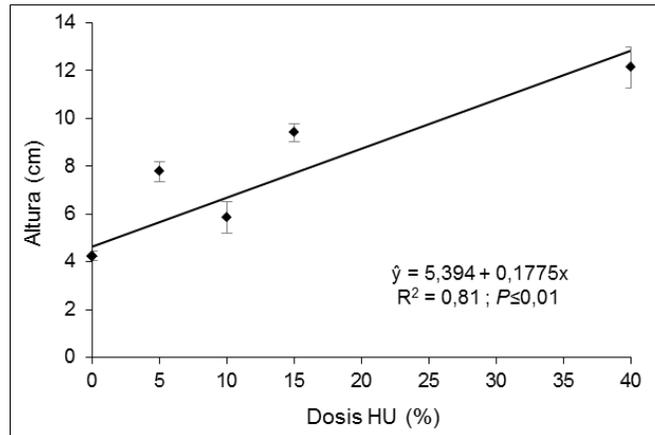


Figura 2. Altura de plántulas de pimentón a los 43 días después de la siembra en respuesta a dosis de hidrogel nanocompuesto con N-urea. Las barras indican el error estándar

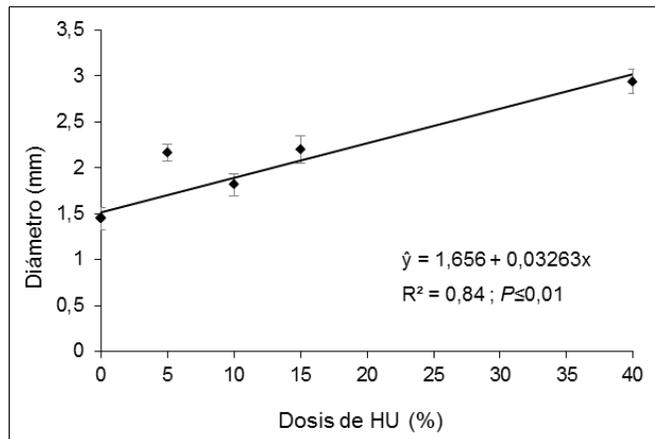


Figura 3. Diámetro de tallo de plántulas de pimentón, a los 43 días después de la siembra en respuesta a dosis de hidrogel nanocompuesto con N-urea. Las barras indican el error estándar

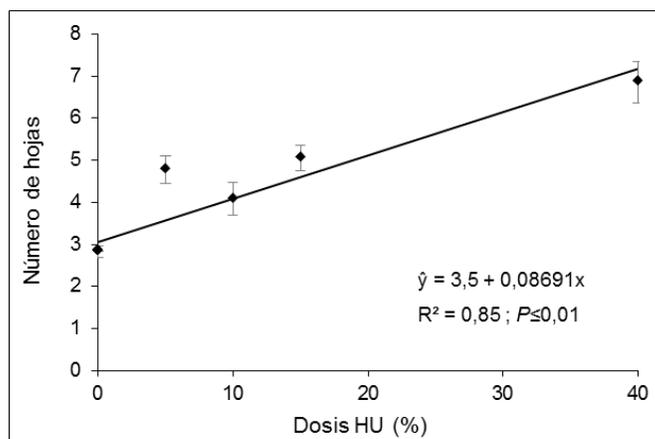


Figura 4. Número de hojas de plántulas de pimentón, a los 43 días después de la siembra en respuesta a dosis de hidrogel nanocompuesto con N-urea. Las barras indican el error estándar

Castro e Melo et al. Hidrogel nanocompuesto con N-urea en sustrato para pimentón

La Figura 5 muestra las regresiones significativas con relación a las dosis de HU para las variables de masa seca de la parte aérea, masa seca de raíces, área foliar e índice de calidad de Dickson. La aplicación del 40 % HU promovió un incremento de hasta siete veces en la MSA, seis veces en la MSR, cerca de siete veces en el AF y siete veces en el ICD respecto a las plántulas cultivadas sin urea en el polímero (control). El crecimiento en el área foliar representa mayor superficie fotosintéticamente activa, lo cual favorece la producción de carbohidratos y plantas con mayor biomasa (Luna et al., 2014). El ICD es un buen indicativo en la calidad de las plántulas y mostró un crecimiento equilibrado de raíces en relación a la parte aérea.

Los resultados anteriores se asemejan a los

obtenidos por Marques y Bastos (2010) quienes evaluando hidrogel en la producción de plántulas de pimentón detectaron que hubo un efecto significativo en las variables relacionadas con la masa seca de la parte aérea y el número de hojas con el aumento en la dosis del polímero, mientras que Pinto et al. (2015) obtuvieron una diferencia significativa en la masa seca de la raíz al aplicar diferentes dosis de hidrogel al sustrato de plántulas de ají Jalapeño. Con respecto a la adición de nitrógeno al hidrogel, el efecto concuerda con lo reportado por Dufault y Schultheis (1994) quienes al evaluar la efectividad del acondicionamiento nutricional para el trasplante de plántulas de pimentón, observaron que el nitrógeno generó incrementos significativos en el área foliar y la masa seca de la parte aérea y las raíces bajo condiciones de invernadero.

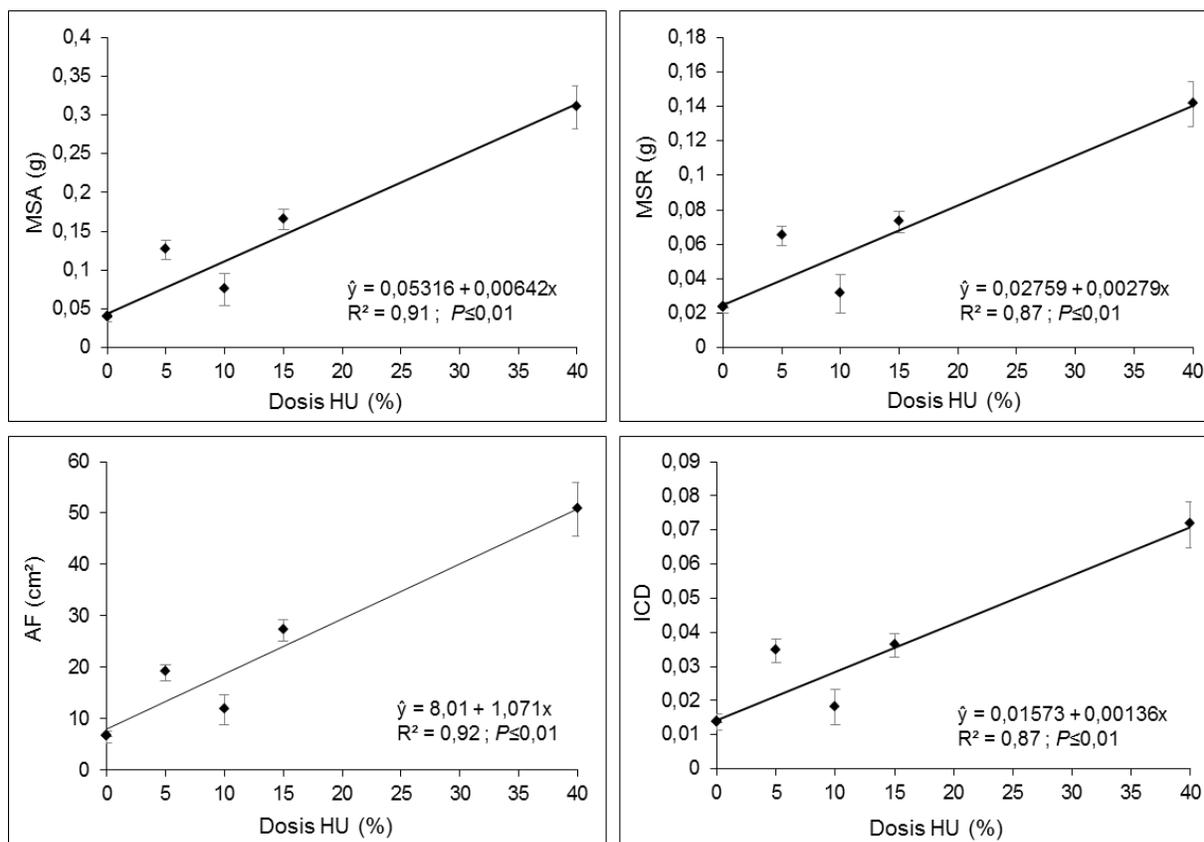


Figura 5. Masa seca de la parte aérea (MSA), masa seca de raíces (MSR), área foliar (AF) e índice de calidad de Dickson (ICD) a los 43 días después de la siembra en respuesta a dosis de hidrogel nanocompuesto con N-urea. Las barras indican el error estándar

Los incrementos en la masa seca de la parte aérea y las raíces puede explicarse por el hecho de

que el nitrógeno es uno de los nutrientes más extraídos por plántulas de pimentón (Monteiro et

al., 2009) e induce un rápido desarrollo vegetativo (Marcussi et al., 2004; Filgueira, 2008; Rodríguez, 2017). De igual forma, la presencia del polímero puede reducir la lixiviación del nitrógeno, como fue constatado por Fagundes et al. (2015), quienes observaron que las pérdidas por lixiviación del nutriente disminuyeron en la medida en que se aumentó la dosis del polímero.

CONCLUSIONES

A medida que se incrementaron las concentraciones de N-urea en el hidrogel (HU) aplicado al sustrato aumentaron los efectos benéficos para la mayoría de las variables evaluadas en las plantas de pimentón, destacándose la dosis de 40 % de HU. Su aplicación no interfirió en la emergencia y desarrollo de las plántulas. Estos resultados pueden contribuir para futuras recomendaciones de la utilización de HU en sustrato y en otros estudios con diferentes especies.

LITERATURA CITADA

- Bernardi, M.R., M.S. Junior, O. Daniel y A.C.T. Vitorino. 2012. Crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e adubação. *Cerne* 18(1): 67-74.
- Bortolin, A. 2014. Desenvolvimento de nanocompósitos baseados em hidrogéis aplicados à liberação de nutrientes agrícolas. Dissertação. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 75 p.
- Bortolin, A., F.A. Aouada, L.H. Mattoso y C. Ribeiro. 2013. Nanocomposite PAAm/methyl cellulose/montmorillonite hydrogel: evidence of synergistic effects for the slow release of fertilizers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61(31): 7431-7439.
- Braz, B.D. 2016. Efeito do uso de hidrogel e de diferentes tipos de substratos na germinação e no desenvolvimento de plântulas de *Anacardium humile* st. Hill. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília. 49 p.
- Cabezas, W.A., G.H. Korndorfer y S.A. Motta. 2000. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluída de cobertura na cultura do milho em sistema de plantio direto no triângulo mineiro (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 24: 363-376.
- Cabezas, W.A. y M.A. Souza. 2008. Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de uréia com sulfato de amônio ou com gesso agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32: 2331-2342.
- Carvalho, A.M. y F.Q. Mendes. 2017. Speed Stat: a minimalist and intuitive spreadsheet program for classical experimental statistics. *In: Anais da 62ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria*. Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG, Brasil. p. 333.
- CNA (Confederação Nacional da Agricultura). 2017. Mapeamento e quantificação da cadeia produtiva das hortaliças do Brasil. Brasília, DF. 79 p. http://www.cnabrazil.org.br/sites/default/files/sites/default/files/uploads/mapeamento_e_quantificacao_da_cadeia_de_hortaliças.pdf (consulta del 05-03-2018).
- Dickson, A., A.L. Leaf. y J.F. Hosner. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle* 36: 10-13.
- Dufault, R.J. y J.R. Schultheis. 1994. Bell pepper seedling growth and yield following pretransplant nutritional conditioning. *HortScience* 29(9): 999-1001.
- Fagundes, M.C., M.D. Cruz, R.P. Carvalho, J. Oliveira y B.C. Soares, 2015. Polímero hidroabsorvente na redução de nutrientes lixiviados durante a produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. *Revista Caatinga* 28(1): 121-129
- Filgueira, F.A.R. 2008. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Edit. UFV. Viçosa, MG. 421 p.
- Fonteno, W.C. y T.E. Bilderback. 1993. Impact of hydrogel on physical properties of coarse-structured horticultural substrates. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 118: 217-222.
- Glozer, K. 2008. Protocol for leaf image analysis—surface area. <http://ucanr.edu/sites/fruitytree/files/49325.pdf>. (consulta del 24-05-

- 2018).
15. Grey, T.L. y T.M. Webster. 2012. Transplant production. *In*: V. Russo (ed.). Peppers: Botany, Production and Uses. CABI. pp. 87-99.
 16. Gruda, N., M.M. Qaryouti y C. Leonardi. 2013. Growing Media. *In*: Good agricultural practices for Greenhouse Vegetable Crops-Principles for Mediterranean Climate Areas. Plant Production and Protection. FAO, Rome. Paper 217. pp. 271-302.
 17. Guo, M., M. Liu, F. Zhan y L. Wu. 2005. Preparation and properties of a slow-release membrane-encapsulated urea fertilizer with superabsorbent and moisture preservation. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 44(12): 4206-4211.
 18. Hanafi, M.M., S.M. Eltaib y M.B. Ahmad. 2000. Physical and chemical characteristics of controlled release compound fertilizer. *European Polymer Journal* 36(10): 2081-2088.
 19. Henz, G.P., C.S. Ribeiro, S. Carvalho y C.A. Banci. 2007. Como cultivar pimentão- Caderno Técnico. *Cultivar Hortaliças e Frutas* 42: 1-6.
 20. Jorge, L.A. de C. y A.F. Rodrigues. 2008. Safira: sistema de análise de fibras e raízes. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* 24.
 21. Lima, G.G. da S., A. dos R. Nascimento y N.A. de Azara. 2012. Produção de mudas. *In*: F.M. Clemente y L.S. Boiteux (eds.). Produção de tomate para processamento industrial. Embrapa. Brasília, DF. pp.79-101.
 22. Lopez, R. y E. Runkle (eds.). 2017. Light management in controlled environments. Meister Media Worldwide. Willoughby, OH, USA. 180 p.
 23. Luna, A.M., E.R. García, J.L.C. Servín, A.L. Herrera y J.S. Arellano. 2014. Evaluation of different concentrations of nitrogen for tomato seedling production (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Universal Journal of Agricultural Research* 2(8): 305-312
 24. Marana, J.P., E. Miglioranza., E.F. Pádua y R.H. Kainuma, 2008. Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. *Ciência Rural* 38(1): 39-45.
 25. Marcussi, F.F., R.L. Bôas, L.J. Godoy y R. Goto. 2004. Macronutrient accumulation and partitioning in fertigated sweet pepper plants. *Scientia Agricola* 61(1): 62-68.
 26. Marques, P.A. y R.O. Bastos. 2010. Uso de diferentes doses de hidrogel para produção de mudas de pimentão. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias* 3(2): 53-64.
 27. Monteiro, M.T., V.F. Gomes, P.F. Filho y F.V. Guimarães. 2009. Absorção de nutrientes por mudas de pimentão micorrizado cultivado em substrato com pó de coco. *Revista Caatinga* 22(1): 95-101.
 28. Nascimento, W.M., P.P. Silva y D.J. Cantliffe. 2016. Qualidade das sementes e estabelecimento das plantas. *In*: W.M. Nascimento y R.B. Pereira (ed.). Produção de mudas de hortaliças. Embrapa. Brasília, DF. pp. 57-86.
 29. Olaria, M., J.F. Nebot, H. Molina, P. Troncho, L. Lapeña y E. Llorens. 2016. Effect of different substrates for organic agriculture in seedling development of traditional species of Solanaceae. *Spanish Journal of Agricultural Research* 14: 1-8.
 30. Paul, L.C. y J.D. Metzger. 2005. Impact of vermicompost on vegetable transplant quality. *HortScience* 40(7): 2020-2023.
 31. Pinto, L.E., M.R. Santana y A.M. Godinho. 2015. Utilização do hidrogel na produção de mudas de pimenta Jalapeño. *Colloquium Agrariae* 11: 66-72.
 32. Ragassi, C.F. y R.A. de C. Melo. 2017. Recomendações para manejo da compactação do solo no contexto da Produção Integrada do Pimentão no Distrito Federal. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças. Comunicado Técnico 115, 11 p.
 33. Rodríguez, L.F. 2017. Pimiento. *In*: J. Borrego y C. Soria (Coord.). Cultivos hortícolas al aire libre. Cajamar Caja Rural. 788 p. <http://www.publicacionescajamar.es/series-tematicas/agricultura/cultivos-hortícolas-al-aire-libre/> (consulta del 09-03-2018).
 34. Sabadini, R.C. 2015. Redes poliméricas de macromoléculas naturais como hidrogéis super absorventes. Tesis. Universidade de São Paulo, São Carlos. 150 p.

35.Serrano, L.A., L.F. Cattaneo y G.A. Ferreguetti. 2010. Adubo de liberação lenta na

produção de mudas de mamoeiro. Revista Brasileira de Fruticultura 32: 874-883.