Autores: Spagnoletti, F.N.; Giacometti, R.*

Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires e Instituto de Investigaciones en Biociencias Agrícolas y Ambientales - INBIA (CONICET/UBA).
*Contacto: rgiacometti@agro.uba.ar

Nano-Manganeso y su uso como fertilizante foliar en soja

Una alternativa bio-nanotecnológica para una mayor eficiencia en el uso del manganeso en soja.

Palabras Claves:
Nanotecnología; Química verde; Nutrición vegetal.

Introducción

El aumento de la productividad de los cultivos depende en gran medida del adecuado suministro de nutrientes para complementar la demanda de las plantas. Los fertilizantes proporcionan a las plantas nutrientes para sostener y optimizar su crecimiento y desarrollo, incrementando la productividad de los agrosistemas. Recientemente, debido al progreso continuo de la tecnología en fertilización, se propusieron estrategias como la incorporación de nanotecnología al agro mediante la utilización de nanofertilizantes (1-100 nm). Entre los beneficios que estos nanomateriales otorgan se destacan la liberación controlada y eficiencia en el uso de nutrientes, y consecuentemente, la reducción de las pérdidas por volatilización y lixiviación, disminuyendo el impacto ambiental generado por la aplicación de fertilizantes convencionales. Otra ventaja de los nanofertilizantes es que pueden aplicarse en menores cantidades, reduciendo costos de transporte y con la posibilidad de aumentar los volúmenes de aplicación.

Entre las diferentes maneras de sintetizar nanopartículas (NPs) que serán utilizadas como nanofertilizantes se encuentra la vía convencional/química o la biogénica. La síntesis convencional de NPs metálicas requiere tanto de energía como de reactivos costosos ya que se lleva a cabo mediante la preparación de suspensiones precursoras con un exceso de aditivos químicos orgánicos e inorgánicos y diferentes solventes que se requieren para dirigir el proceso de cristalización bajo condiciones específicas. En este proceso, las sustancias químicas sin reaccionar, son desechadas dando como resultado la eliminación de materiales con efectos ambientales perjudiciales (Ahmed y Mustafa, 2020). Por el contrario, la síntesis biológica, emplea como agente reductor y/o estabilizante extractos vegetales y exudados microbianos, proteínas o enzimas para la obtención de nanomateriales, por lo que las hace ambientalmente compatibles (Spagnoletti y col., 2019).

En los últimos años, el manganeso (Mn) se ha convertido en uno de los factores limitantes del rendimiento y es en parte responsable de la baja nutrición de los alimentos (Sainz Rozas, y col., 2015). En la región pampeana, así como en otras regiones agrícolas del mundo, se han comenzado a observar deficiencias de este micronutriente y respuesta a la fertilización, en ciertos cultivos extensivos, como soja, girasol, maíz, trigo y alfalfa (Ratto, 2006; Torri y col., 2011). La importancia del Mn radica en que juega un papel importante en el proceso de fotosíntesis, en la respiración y en el metabolismo del nitrógeno. Este elemento puede incorporarse en las mezclas de fertilizantes a bajas dosis en la forma de óxidos o como sales solubles. Sin embargo, generalmente se utiliza en forma independiente, como sales solubles o quelatos. Puede aplicarse al suelo, por vía foliar o bien tratando las semillas. No obstante, dependiendo de la forma, dosis de aplicación y características del suelo, su disponibilidad para los cultivos puede disminuir ya que precipita rápidamente o interactúa con los coloides arcillosos y la matriz órgano-mineral de los suelos.

En este trabajo planteamos nuevas rutas en el proceso de obtención de nanofertilizantes, estableciendo una conexión entre la biotecnología y la nanotecnología. Nuestros resultados proponen a las nanopartículas de manganeso (MnNPs) para su potencial uso como bio-nanofertilizante de aplicación foliar.

Metodología

Para la síntesis biogénica de las MnNPs se siguió el protocolo descripto en Spagnoletti y col., 2019. Con el objetivo de evaluar el efecto de las MnNPs sobre plantas de soja, se realizaron tres experimentos independientes en cámara de cultivo con condiciones de luz, temperatura y humedad controladas. Previo a dar inicio al experimento, se evaluó la capacidad germinativa de las semillas (Nidera 4990). Una vez testeado el porcentaje de germinación se procedió a sembrar dos semillas de soja por maceta. Las macetas utilizadas fueron de 1000cm³ de capacidad. Por otra parte, el sustrato utilizado fue una mezcla de suelo:arena:perlita en una relación 1:1:1. El suelo utilizado para la preparación del sustrato fue un horizonte A de un Argiudol típico (US Soil Taxonomy) de Solís, provincia de Buenos Aires, Argentina (34 ° 18 ' S, 59 ° 20 ' W). La distribución del tamaño de partícula del sustrato fue 18 % arcilla, 12 % limo y 69 % arena, y la composición química del sustrato fue: 18.6 g kg^{-1} de carbono orgánico (método Walkley y Black), pH 7.1, 35.8 mg kg^{-1} fósforo disponible (método Kurtz y Bray No 1) y conductividad eléctrica de 0,38 dSm^{-1} (extracto de saturación del suelo).

En todos los experimentos realizados, se testearon 6 tratamientos: (T0) Control correspondiente a plantas sin fertilizar ni con $MnSO_4$ ni con MnNPs; (T1) plantas fertilizadas con $MnSO_4$; (T2) plantas fertilizadas con 50 μgml^{-1} de MnNPs; (T3) plantas fertilizadas con 100 μgml^{-1} de MnNPs; (T4) plantas fertilizadas con 200 μgml^{-1} de MnNPs; y finalmente, (T5) plantas fertilizadas con MnSO4 + 50 μgml^{-1} de MnNPs. Cada tratamiento contó con 5 repeticiones. Las plantas se fertilizaron mediante aplicación foliar en los estadíos fenológicos V2 y R1 de manera tal de fertilizar a las plantas en un estadío vegetativo y otro reproductivo.

Las plantas se regaron con agua destilada y se mantuvieron a capacidad de campo durante todo el ensayo. Las macetas se rotaron diariamente para evitar efectos diferenciados debido a la intensidad y calidad de la luz. La temperatura promedio durante el transcurso de la prueba fue de 27 °C. La fitotoxicidad se controló a lo largo de todo el ensayo.

Quince días después de la fertilización en el estadío R1, se midió la altura de cada una de las plantas y posteriormente, se cosecharon. Con el objetivo de calcular la biomasa vegetal, las muestras vegetales se colocaron en estufa a 50 °C hasta alcanzar peso constante.

Resultados encontrados

No se observaron signos de fitotoxicidad en ninguna de las plantas para las dosis de MnNPs ensayadas.

Como se muestra en la **Figura 1**, en soja los resultados de biomasa total seca para el tratamiento de $MnSO_4$ suplementado con una dosis de 50 μgml^{-1} de MnNPs evidencian un incremento estadísticamente significativo del 20.5 % con respecto al tratamiento sin fertilizar y del 21.6 % respecto al tratamiento correspondiente a la aplicación de la sal **(Tabla 1)**.

Por otra parte, la altura de las plantas de soja se incrementó para los tratamientos con MnNPs a una concentración de 100 y 200 ug/ml. Además, la combinación de $MnSO_4$ con 50 ug/ml de MnNPs fue el tratamiento que presentó plantas con la mayor altura **(Figura 2)**. En este sentido, la **Tabla 2** muestra que los incrementos en altura al incorporar MnNPs fueron superiores a un 18 % respecto de las plantas no tratadas y superiores a un 11 % con respecto a las plantas fertilizadas únicamente con $MnSO_4$.

Figura 1

Biomasa total (g) de plantas de soja obtenida según los tratamientos ensayados. Letras distintas indican diferencias estadísticamente diferentes con respecto al control (plantas no tratadas).

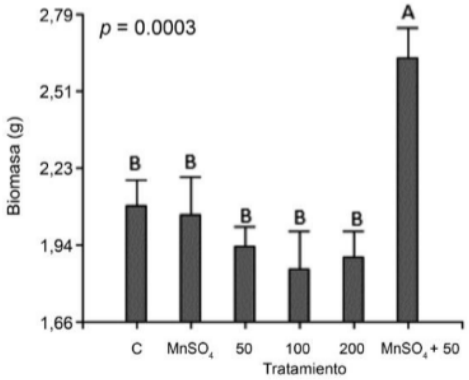

Tabla 1

Efecto de la aplicación conjunta de $MnSO_4$ y 50 μgml^{-1} de MnNPs sobre la biomasa de plantas soja.

Tratamientos	Incremento vs control	Incremento vs $MnSO_4$
$MnSO_4$ + 50 MnNPs μgml^{-1}	20.5 %	21.6 %

Discusión de los resultados

Si bien los datos aquí presentados sólo muestran los resultados obtenidos en biomasa y altura de las plantas de soja, representa una primera aproximación que evidencia la potencialidad de la utilización de nanopartículas como fertilizantes. En este trabajo quedó demostrado que la adición de MnNPs potencia la fertilización convencional con $MnSO_4$. En este sentido, existen estudios que evidencian que la alta reactividad de las NPs está relacionada con su pequeño tamaño y, por lo tanto, poseen una gran superficie específica que les confiere atributos superiores a los fertilizantes convencionales (Du y col., 2019). Recientemente se han utilizado diversas NPs como nanofertilizantes de micronutrientes, sin embargo, en la mayoría de los estudios solo se investigaron los efectos de estos productos sintetizados por la vía química. En estos trabajos se demostró que además de aportar los nutrientes contenidos en las NPs, se pueden generar efectos positivos indirectos al alterar o mejorar la absorción de macronutrientes, como N, P o K. Por otra parte también se han reportado efectos positivos de las NPs sobre la germinación, el crecimiento y el rendimiento de varios cultivos (Pradhan y col., 2014; Dimkpa y col., 2018).

Figura 2

Altura (cm) de plantas de soja obtenida según los tratamientos ensayados. Letras distintas indican diferencias estadísticamente diferentes con respecto al control (plantas no tratadas).

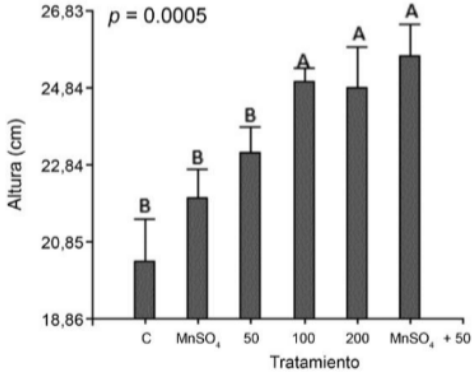

Tabla 2

Efecto de diferentes concentraciones de MnNPs en la altura de plantas soja.

Tratamientos	Incremento vs control	Incremento vs $MnSO_4$
100 MnNPs μgml^{-1}	18.8 %	12.0 %
200 MnNPs μgml^{-1}	18.0 %	11.3 %
$MnSO_4$ + 50 MnNPs μgml^{-1}	21.0 %	14.4 %

Conclusiones

- Nuestro equipo logró la síntesis biogénica de NPs de manganeso, con gran potencial para su uso como nanofertilizante, ya sea para ser utilizado en forma individual o en conjunto con formulados preexistentes en la nutrición de cultivos. Bajo ninguna de las condiciones ensayadas se observaron signos de fitotoxicidad. La aplicación conjunta de la sal de Mn ($MnSO_4$) como fertilizante foliar suplementado con una dosis de 50 μgml^{-1} de MnNPs, evidenció los mejores resultados en cuanto a los parámetros evaluados de las plantas de soja.

Referencias

Ahmed, R.H., Mustafa, D.E. 2020. Green synthesis of silver nanoparticles mediated by traditionally used medicinal plants in Sudan. International Nano Letters, 10, 1-14.

Dimkpa, C.O., Singh, U., Adisa, I.O., Bindraban, P.S., Elmer, W.H., Gardea-Torresdey, J.L., White, J.C. 2018. Effects of manganese nanoparticle exposure on nutrient acquisition in wheat (Triticum aestivum L.). Agronomy, 8(9), 158.

Du, W., Yang, J., Peng, Q., Liang, X., Mao, H. 2019. Comparison study of zinc nanoparticles and zinc sulphate on wheat growth: From toxicity and zinc biofortification. Chemosphere, 227, 109-116.

Pradhan, S., Patra, P., Mitra, S., Dey, K.K., Jain, S., Sarkar, S., Roy, S., Palit, P., Goswami A. 2014. Manganese nanoparticles: impact on non-nodulated plant as a potent enhancer in nitrogen metabolism and toxicity study both in vivo and in vitro. Journal of agricultural and food chemistry, 62, 8777-8785.

Ratto, S.E. 2006. Los microelementos en el sistema productivo del área pampeana. En: M Vázquez (Ed.) Micronutrientes en la agricultura. AACS, Argentina. pp 79-111.

Sainz Rozas, H., Puricelli, M., Eyherabide, M., Barbieri, P.A., Echeverría, H.E., Reussi Calvo, N.I. and Martínez, J.P. 2015. Available Zinc levels in soils of Argentina. International Journal of Agronomy and Agricultural Research, 7, 59-71.

Spagnoletti, F.N., Spedalieri, C., Kronberg, F., Giacometti, R. 2019. Extracellular biosynthesis of bactericidal Ag/AgCl nanoparticles for crop protection using the fungus Macrophomina phaseolina. Journal of Environmental Management, 231, 457-466.

Torri, S.I., Urricariet, S., Lavado, R.S. 2011. Micronutrient availability in crop soils of the Pampas region, Argentina. 277-296.