

## New techniques to improve fertigation efficiency with nitrification inhibitors in lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Murcia

## Nuevas técnicas para mejorar la eficiencia de la fertirrigación mediante el uso de inhibidores de la nitrificación en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en la Región de Murcia

P. Berríos\*, A. Pérez-Pastor, A. Temnani, D. Pérez, I. Gil, M. Forcén, S. Zapata, S. Bañón

Departamento de Ingeniería Agronómica, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII 48, 30203, Cartagena, Murcia. Spain

\*pablo.berrios@edu.upct.es

### **Abstract**

**Nitrogen (N) is an essential element for the growth of plants and is the nutrient that is usually applied in greater quantity in agriculture, but a significant amount can be lost through leaching, gaseous emissions and volatilization of NH<sub>3</sub>; increasing production costs and negatively impacting the environment. The nitrification inhibitors (NI) allow reducing these losses, simplifying the fertilization management, reducing costs and facilitating greater flexibility in the time of application. The essential problem of horticultural crops in Murcia is the optimized management of water and nutrients, so the incorporation of NI must be subject to protocols that are not yet defined in intensive agriculture. The general objective of the research is to develop, from a multidisciplinary point of view, efficient and sustainable criteria for the management of lettuce fertigation through the use of NI fertilizers and the monitoring of the soil-plant-atmosphere system, to improve the efficiency of the use of water and nutrients, meet the quality standards required for export and reduce the emission of greenhouse gases according to the local edaphoclimatic conditions of Murcia.**

**Keywords:** DMPP; DCD-TZ; TZ-MP; soil-plant-atmosphere; water potential; greenhouse gases.

### **Resumen**

**El nitrógeno (N) es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas y es el nutriente que se suele aplicar en mayor cantidad en la agricultura, pero se puede perder una cantidad significativa por la lixiviación, emisiones gaseosas y volatilización de NH<sub>3</sub>; aumentando los costos de producción e impactando negativamente sobre el medio ambiente. Los inhibidores de la nitrificación (IN) permiten reducir estas pérdidas, simplificar la tarea de fertilización, disminuir costos y facilitar una mayor flexibilidad en el tiempo de aplicación. La problemática esencial de los cultivos hortícolas en Murcia es el manejo optimizado de agua y nutrientes por lo que la incorporación de IN debe someterse a protocolos que aún no están definidos en la agricultura intensiva. El objetivo general de la investigación es elaborar desde un punto de vista multidisciplinar criterios eficientes y sostenibles para el manejo de la fertirrigación de lechuga mediante el uso de fertilizantes**

**con IN y la monitorización del sistema suelo-planta-atmósfera, para mejorar la eficiencia del uso del agua y nutrientes, cumplir los estándares de calidad exigidos para la exportación y disminuir la emisión de gases de efecto invernadero según las condicionantes edafoclimáticas locales de Murcia.**

**Palabras clave:** DMPP; DCD-TZ; TZ-MP; suelo-planta-atmósfera; potencial hídrico; gases efecto invernadero.

## 1. INTRODUCCION

El nitrógeno (N) es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas y es el nutriente que se suele aplicar en mayor cantidad en la agricultura, pero incluso mediante estrategias de fertilización optimizadas se puede perder una cantidad significativa del N aplicado al suelo, a través de la lixiviación de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), emisiones gaseosas en forma de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$  y  $\text{N}_2\text{O}$ ) procedentes de la nitrificación y desnitrificación, y la volatilización de  $\text{NH}_3$  [1]. Estas pérdidas no sólo representan una carga económica innecesaria, sino que impactan negativamente sobre el medio ambiente. El fertilizante nitrogenado ideal debe i) permitir lograr un crecimiento óptimo de las plantas con una sola aplicación; ii) presentar mínimas pérdidas y iii) minimizar los efectos perjudiciales sobre el suelo, el agua y la atmósfera. Los fertilizantes nitrogenados asociados con la nitrificación o los inhibidores de la ureasa coinciden en gran medida con éstas características y se están utilizando dada su efectividad y el amplio espectro de cultivos a los que se puede aplicar [1].

En 1962, la nitrapirina (2-cloro-6- triclorometil piridina) se introdujo como inhibidor de la nitrificación (IN) en EE.UU. [2]. Además de ésta, actualmente están disponibles: diciandiamida + 1H-1,2,4-triazol (DCD-TZ), 3,4-dimetilpirazol fosfato (DMPP) [1,3] y 1H-1,2,4-triazol y 3-metilpirazol (TZ-MP). En los fertilizantes minerales el DMPP generalmente se agrega al nitrato de sulfato de amonio y el DCD-TZ se agrega a la urea, mientras que el TZ-MP está disponible para fertilizantes orgánicos líquidos.

La nitrificación es un proceso clave de transformación del N, en donde el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) o amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) es oxidado a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) en dos reacciones: i) oxidación de amonio a nitrito por bacterias del género *Nitrosomonas* y ii) oxidación del nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) por bacterias del género *Nitrobacter*. Los IN actúan reduciendo la actividad de la primera reacción, lo que retrasa el proceso de oxidación. El uso de fertilizantes con IN podría incrementar la disponibilidad de amonio en el suelo para la nutrición del cultivo, debido a una proporción adecuada entre  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  en la solución del suelo, pudiéndose así incrementar el uso eficiente de N, al reducirse las pérdidas por lixiviación de  $\text{NO}_3^-$  y disminuyendo el contenido de nitratos en las hojas de lechuga [4]. Sin embargo, se observó una reducción de la biomasa alcanzada por lechugas fertilizadas con N en forma amoniacal, debido a la sensibilidad que muestran ciertos cultivos al amonio [5].

Dado que el  $\text{NO}_3^-$  es muy soluble en agua, se producen pérdidas por lixiviación cuando existen precipitaciones o riegos que superan la lámina de agua que puede retener el volumen de suelo ocupado por el sistema radicular, y por tanto el uso de IN podría minimizarlas. Varios estudios han demostrado que la lixiviación de  $\text{NO}_3^-$  después de la aplicación de fertilizantes minerales N puede reducirse significativamente con la adición de DCD [6,7] o DMPP [8]. Al realizar una gestión eficiente del riego, en el que la lixiviación de  $\text{NO}_3^-$  junto con el agua de riego sea limitada, además de incrementar la eficiencia del uso del agua, también se incrementa de manera considerable la eficiencia en el uso de nitrógeno, fósforo y potasio; tal es el caso de ensayos realizados en albaricoquero [9] y uva de mesa [10]. Además, se promueve una reducción significativa de la emisión de  $\text{CO}_2$  y  $\text{N}_2\text{O}$  desde el suelo [11].

La adición de IN permite reducir las pérdidas de N en forma gaseosa, ya sea como óxidos de N ( $\text{NO}_x$ ) y/o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Akiyama et al. (2010) reportaron que los IN redujeron las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  y NO en aproximadamente 38% y 46%, respectivamente [12] y la adición de DCD redujo un 40% las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  [13]. DMPP también permitió reducir las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  de fertilizante mineral [12] y orgánico [14].

Más allá de reducir las pérdidas de N, el uso de IN también puede simplificar la tarea de fertilización en la producción intensiva de cultivos y disminuir costos de mano de obra y maquinaria al reducir el número de aplicaciones [15] o facilitar una mayor flexibilidad en el tiempo de aplicación por la liberación más lenta de N [16]. Este beneficio es cada vez más importante frente al cambio climático, donde una mayor flexibilidad ofrece la posibilidad de reducir el riesgo asociado con períodos de sequía o lluvia prolongados. En el primer caso, existe la opción de aplicar fertilizantes N más temprano en la temporada para evitar que la sequía no permita la disolución del fertilizante y la absorción de N, mientras que durante períodos de lluvia extensos se pueden evitar las posibles pérdidas por lixiviación. Todo lo anterior permite reducir los costos de cultivo y la compactación del suelo por el tráfico de maquinaria.

Respecto del efecto de los IN sobre el rendimiento, la adición de DMPP bajo distintas condiciones edafoclimáticas en Europa permitió incrementar la producción de trigo invernal, arroz, maíz, patata, remolacha azucarera y hortalizas [17]. En Alemania se incrementó entre 1-6% el rendimiento de cereales de invierno, colza, maíz, patata y remolacha azucarera [18]. Sin embargo, otros autores han reportado que el rendimiento no se ve afectado por el uso de IN; en la producción de patata no se observó ningún cambio en respuesta a la aplicación de DCD [19] y sólo en una de cinco pruebas realizadas se incrementó el rendimiento de tubérculos [20]. En otros estudios en granos y tubérculos no se pudo probar el aumento del rendimiento al agregar IN, pero se observó una reducción del contenido de proteína cruda del trigo de invierno [15]. Esto destaca la importancia de estudiar la posible influencia del uso de IN sobre la calidad nutricional de las plantas. La lechuga es rica en vitamina A (caroteno), vitamina C (ácido ascórbico), hierro y calcio [21].

Según FAO, mundialmente se cultivan 1.148.353 ha de lechugas y escarolas con una producción de 24.896.115 t. China, EE.UU. e India son los principales productores. Murcia y Almería en España se presentan como las únicas zonas con el clima adecuado para la producción de lechuga al aire libre en invierno en Europa y su producción está destinada mayoritariamente para la exportación a países europeos [22].

La problemática esencial que presenta un cultivo hortícola en Murcia es el manejo optimizado de agua y nutrientes, y especialmente el nitrógeno. La incorporación de IN en los abonados debe someterse a protocolos que aún no están definidos en la agricultura intensiva, por lo que es necesario comprobar la idoneidad de su uso según las condicionantes edafoclimáticas locales.

El objetivo general de la investigación es elaborar desde un punto de vista multidisciplinar criterios eficientes y sostenibles para el manejo de la fertirrigación de lechuga mediante el uso de fertilizantes con inhibidores de la nitrificación y la monitorización del sistema suelo-planta-atmósfera, para mejorar la eficiencia del uso del agua y nutrientes, cumplir los estándares de calidad exigidos para la exportación, disminuir la emisión de gases de efecto invernadero

## 2. REFERENCIAS

[1] Trenkel, M.E., 2010. Slow-and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture.

[2] Goring, C.A.I., 1962. CONTROL OF NITRIFICATION BY 2-CHLORO-6-(TRICHLORO-METHYL) PYRIDINE. *Soil Sci.* 93, 211-218. <https://doi.org/10.1097/00010694-196203000-00010>

- [3] Zerulla, W., Barth, T., Dressel, J., Erhardt, K., Horchler von Locquenghien, K., Pasda, G., Rädle, M., Wissemeier, A., 2001. 3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) - a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. *Biol. Fertil. Soils* 34, 79–84. <https://doi.org/10.1007/s003740100380>
- [4] Huérfano, X., Menéndez, S., MM, B.-B., MB, G.-M., JM, E., González-Murua, C., 2016. The nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate decreases leaf nitrate content in lettuce while maintaining yield and N<sub>2</sub>O emissions in the Savanna of Bogotá. *Plant, Soil Environ.* 62, 533–539. <https://doi.org/10.17221/105/2016-PSE>
- [5] Cruz, C., Bio, A.F.M., Domínguez-Valdivia, M.D., Aparicio-Tejo, P.M., Lamsfus, C., Martins-Loução, M.A., 2006. How does glutamine synthetase activity determine plant tolerance to ammonium? *Planta* 223, 1068–1080. <https://doi.org/10.1007/s00425-005-0155-2>
- [6] Ball-Coelho, B.R., Roy, R.C., 1999. Enhanced ammonium sources to reduce nitrate leaching. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 54, 73–80. <https://doi.org/10.1023/A:1009773428011>
- [7] Serna, M.D., Bañuls, J., Quiñones, A., Primo-Millo, E., Legaz, F., 2000. Evaluation of 3,4-dimethylpyrazole phosphate as a nitrification inhibitor in a Citrus -cultivated soil. *Biol. Fertil. Soils* 32, 41–46. <https://doi.org/10.1007/s003740000211>
- [8] Arregui, L.M., Quemada, M., 2006. Drainage and nitrate leaching in a crop rotation under different N-fertilizer strategies: application of capacitance probes. *Plant Soil* 288, 57–69. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9064-9>
- [9] Pérez-Pastor, A., Domingo, R., Torrecillas, A., Ruiz-Sánchez, M.C., 2009. Response of apricot trees to deficit irrigation strategies. *Irrig. Sci.* 27, 231–242. <https://doi.org/10.1007/s00271-008-0136-x>
- [10] Conesa, M.R., de la Rosa, J.M., Artés-Hernández, F., Dodd, I.C., Domingo, R., Pérez-Pastor, A., 2015. Long-term impact of deficit irrigation on the physical quality of berries in 'Crimson Seedless' table grapes. *J. Sci. Food Agric.* 95, 2510–2520. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6983>
- [11] Zornoza, R., Rosales, R.M., Acosta, J.A., de la Rosa, J.M., Arcenegui, V., Faz, Á., Pérez-Pastor, A., 2016. Efficient irrigation management can contribute to reduce soil CO<sub>2</sub> emissions in agriculture. *Geoderma* 263, 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.09.003>
- [12] Akiyama, H., Yan, X., Yagi, K., 2010. Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N<sub>2</sub>O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Glob. Chang. Biol.* 16, 1837–1846. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02031.x>
- [13] Skiba, U., Smith, K.A., Fowler, D., 1993. Nitrification and denitrification as sources of nitric oxide and nitrous oxide in a sandy loam soil. *Soil Biol. Biochem.* 25, 1527–1536. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90007-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90007-X)
- [14] Dittert, K., Bol, R., King, R., Chadwick, D., Hatch, D., 2001. Use of a novel nitrification inhibitor to reduce nitrous oxide emission from <sup>15</sup>N-labelled dairy slurry injected into soil. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 15, 1291–1296. <https://doi.org/10.1002/rcm.335>
- [15] Hu, Y., Schraml, M., von Tucher, S., Li, F., Schmidhalter, U., 2014. Influence of nitrification inhibitors on yields of arable crops: A meta-analysis of recent studies in Germany. *Gorgan Univ. Agric. Sci.* 8, 33–50. <https://doi.org/10.22069/IJPP.2014.1371>
- [16] Linzmeier, W., Gutser, R., Schmidhalter, U., 2001. The new nitrification inhibitor DMPP (ENTEC®) allows increased N-efficiency with simplified fertilizing strategies, in: *Plant Nutrition*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 760–761. [https://doi.org/10.1007/0-306-47624-X\\_369](https://doi.org/10.1007/0-306-47624-X_369)
- [17] Pasda, G., Hähndel, R., Zerulla, W., 2001. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. *Biol. Fertil. Soils* 34, 85–97. <https://doi.org/10.1007/s003740100381>
- [18] Wozniak, H., Michel, H., Fuchs, M., 1999. Nitrification inhibitors for economically efficient and environmental friendly nitrogen fertilization, in: IFA (Ed.), *Proceedings of IFA Agricultural Conference on Managing Plant Nutrition*. International Fertilizer Industry Association (IFA), Barcelona, pp. 182–194.
- [19] Munzert, M., 1984. Field experiments on potatoes with ALZON, in: *Nitrification Inhibition Symposium*. VDLUFA, Darmstadt.
- [20] Martin, H.W., Graetz, D.A., Locascio, S.J., Hensel, D.R., 1993. Nitrification Inhibitor Influences on Potato. *Agron. J.* 85, 651. <https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500030024x>
- [21] Ananda, M.A.I.D. Ahundeniya, W.M.K.B., 2012. Effect of different hydroponic systems and media on growth of lettuce (*Lactuca sativa*) under protected culture.
- [22] Marhuenda, J., García, J., 2017. Lechuga, in: *Cultivos Hortícolas Al Aire Libre*. Cajamar Caja Rural, p. 788.