

REDUCCIÓN DEL USO DE FERTILIZANTES QUÍMICOS

gracias a los microorganismos beneficiosos del suelo

La agricultura moderna depende en gran medida de los fertilizantes químicos para mantener la productividad, pero este modelo intensivo tiene un alto costo ambiental y económico. El exceso de fertilizantes minerales contamina suelos y aguas, contribuye al cambio climático y reduce la salud del suelo. En respuesta a este desafío, crecen las estrategias sostenibles basadas en tecnologías agrícolas más eficientes y en el uso de microorganismos beneficiosos del suelo. Estos microbios naturales no solo mejoran la nutrición de las plantas, sino que también estimulan su crecimiento y aumentan su resistencia frente a enfermedades.

IRENE OLLIO^{1,2}, EVA LLORET^{1,2}, CATALINA EGEEA-GILABERT^{1,2}, RAÚL ZORNOZA^{1,2}, JUAN A. FERNÁNDEZ^{1,2}

¹Departamento de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena

² Instituto de Biotecnología Vegetal (IBV), Campus Muralla del Mar, Edificio I+D+I, Universidad Politécnica de Cartagena

En el transcurso de las últimas décadas, la agricultura industrial ha evolucionado con el objetivo de satisfacer una demanda alimentaria global en constante expansión. Para lograrlo, ha dependido fuertemente del uso masivo de fertilizantes minerales, principalmente nitrogenados y fosfatados. Este enfoque, aunque eficaz a corto plazo, ha generado un modelo agrícola vulnerable y ambientalmente insostenible (FAO 2023). A medida que las consecuencias de esta estrategia se hacen más visibles, desde la contaminación de las aguas hasta la pérdida de fertilidad de los suelos, surge la necesidad de transitar hacia prácticas más sostenibles (De Corato *et al.* 2024).

Uno de los principales problemas del uso excesivo de fertilizantes químicos

es el impacto ambiental que conllevan. La lixiviación de nutrientes contamina tanto las aguas superficiales como las subterráneas, provocando fenómenos como la eutrofización de lagos y ríos (Fachini *et al.* 2022). Además, las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente óxidos de nitrógeno, contribuyen significativamente al cambio climático (Pörtner 2023). Desde una perspectiva agronómica, la fertilización intensiva interfiere en la microbiología del suelo, desequilibrando las comunidades microbianas y reduciendo su capacidad para regenerarse de forma natural (Liu *et al.* 2020). Este deterioro hace que las plantas sean más susceptibles a enfermedades, reduce la biodiversidad y, con el tiempo, compromete la productividad (Tscharncke *et al.* 2012).

A estos efectos se suma una creciente

inestabilidad económica. Los fertilizantes químicos están sometidos a fuertes fluctuaciones de precio, influenciadas por crisis geopolíticas y la volatilidad del mercado energético (European Commission, 2022). Esta dependencia de insumos externos crea un sistema agrícola costoso, frágil y altamente dependiente.

Frente a este panorama, la Comisión Europea ha establecido un objetivo ambicioso: reducir en un 50% el uso de fertilizantes químicos para 2030 (EU Green Deal, 2020). Si bien esta meta es fundamental para garantizar la sostenibilidad del sistema agroalimentario, su implementación no es sencilla. Muchos agricultores aún necesitan acceder a información clara y actualizada sobre estrategias innovadoras que les permitan mantener la productividad reduciendo el uso de insumos sintéticos.



Recolección de patata, temporada 2021.

Estrategias para una fertilización eficiente y sostenible

Existen, diferentes estrategias que permiten reducir el uso de fertilizantes manteniendo la eficiencia y la rentabilidad. Algunas de ellas incluyen la aplicación precisa de nutrientes según el modelo de la utilización del nutriente correcto, en la cantidad adecuada, en el momento oportuno y en el lugar apropiado apoyado en tecnologías digitales y análisis del suelo (Johnston and Bruulsema 2014). También se están desarrollando fertilizantes de liberación controlada e inhibidores de la nitrificación que limitan las pérdidas de nutrientes por lixiviación y volatilización (Chien *et al.* 2009). A continuación, comentamos algunas de las estrategias:

- Fertilización equilibrada

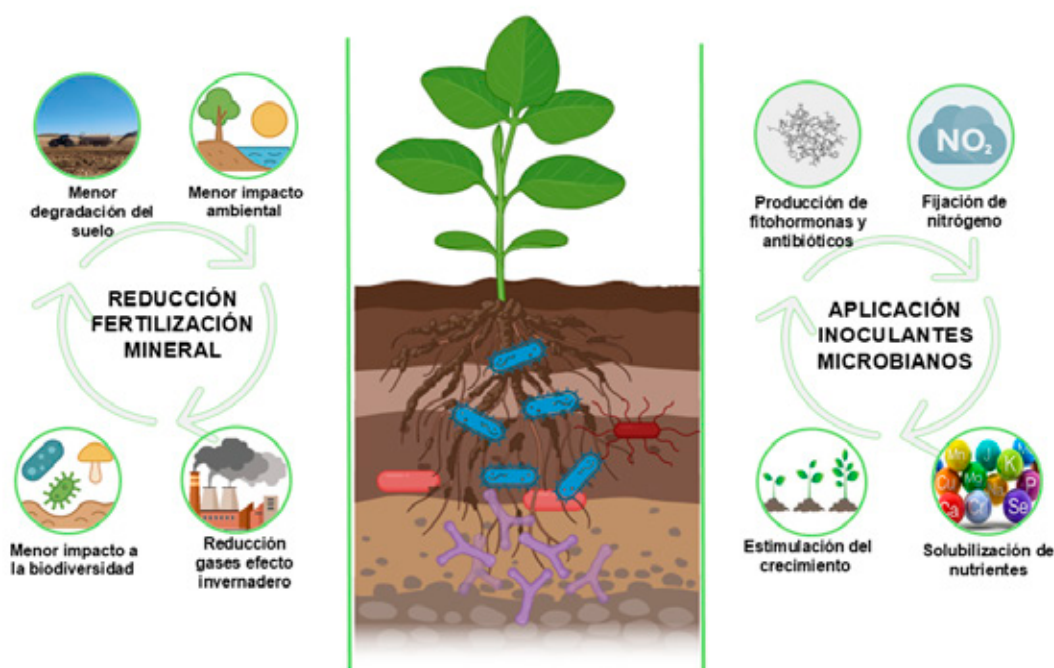
La aplicación de dosis más altas de fertilizantes durante las primeras fases de crecimiento de las plantas tiene como objetivo reducir los costes de mano de

obra asociados a las aplicaciones múltiples. Sin embargo, esta práctica suele desajustar el suministro de nutrientes a las necesidades de las plantas, lo que provoca importantes pérdidas de nutrientes y contaminación ambiental (Timilsena *et al.* 2015). Una fertilización equilibrada implica adaptar el suministro de nutrientes a las necesidades fisiológicas y al rendimiento esperado de los cultivos. Un estudio exhaustivo realizado en más de 500 campos de cereales reveló que las explotaciones que aplicaban programas de fertilización NPK equilibrada experimentaban un rendimiento global de los cultivos entre un 30% y un 50% superior, una mejora del 104 % en la eficiencia del uso de nutrientes y un aumento del 12% al 137% en los rendimientos marginales en comparación con las que aplicaban programas no equilibrados (Ravisankar *et al.* 2014). Del mismo modo, un estudio sobre patatas demostró que la fertilización equilibrada aumentaba el rendimiento de los tubérculos hasta un 35%,

ofreciendo importantes beneficios económicos (Tan *et al.* 2016).

- Fertilizantes de liberación lenta y controlada (SRF/CRF)

Los SRF (*Slow-release fertilizers*) y CRF (*Controlled-release fertilizers*) proporcionan patrones de liberación de nutrientes que se alinean con las necesidades de las plantas, mejorando la eficiencia en el uso de nutrientes (Niedziński *et al.* 2024). Se ha demostrado que la fertilización reducida utilizando SRF aumenta el rendimiento, la rentabilidad económica y mejora varios rasgos de calidad en la producción de cebollino en comparación con los tratamientos convencionales (Wang *et al.* 2020). Además, los SRF y los CRF contribuyen a mejorar la eficiencia en el uso del nitrógeno (NUE) y a reducir los riesgos medioambientales (Jat *et al.* 2012). Los estudios sobre el arroz y el trigo han confirmado que los CRF aumentan eficazmente el rendimiento de los cultivos, la utilización del ni-



Infografía: estrategia de reducción de fertilización química con aplicación de inoculantes microbianos y beneficios agronómicos asociados.

trógeno y el contenido de proteínas (Hou *et al.* 2021; Zhang *et al.* 2022).

- Gestión de nutrientes específica para cada emplazamiento (SSNM)

El SSNM (*Site-Specific Nutrient Management*) implica suministrar nutrientes a las plantas de una manera que se ajuste a sus necesidades espaciales y temporales, utilizando herramientas como la teledetección, el GPS, el SIG, la tecnología de tasa variable y el monitoreo del rendimiento (Dobermann *et al.* 2002; Sarkar *et al.* 2017). Este enfoque es especialmente beneficioso en los cultivos hortícolas, donde la infrafertilización puede reducir el rendimiento y la sobrefertilización puede dañar el medio ambiente (Sarmah *et al.* 2024). Además, su implementación ha demostrado ser eficaz también en cultivos extensivos como los cereales y en frutales (Dobermann *et al.* 2002; Srivastava and Pandey 2021).

- Uso de inhibidores de la nitrificación

Los inhibidores de la nitrificación son compuestos químicos o biológicos que se utilizan para ralentizar la conversión de amonio en nitrato en el suelo

(Nardi *et al.* 2020). La nitrificación, impulsado por las bacterias nitrificantes, provoca importantes pérdidas de nitrógeno por lixiviación y desnitrificación, y contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero como el óxido nitroso (N_2O) (Wang *et al.* 2021b). El uso de inhibidores de la nitrificación mejora la eficiencia del uso del nitrógeno y reduce el impacto ambiental de la fertilización química (Sun *et al.* 2016). Estos inhibidores aumentan la eficiencia de los nutrientes, lo que se traduce en un mayor rendimiento de los cultivos hortícolas y de otro tipo, y en una mejora de la NUE. Funcionan impidiendo o retrasando la transformación del amida-N de la urea en hidróxido de amonio y amonio durante un periodo determinado (Shi *et al.* 2024).

- Gestión integrada del nitrógeno (INM)

La gestión integrada del nitrógeno (*Integrated Nitrogen Management*) se basa en la combinación de fertilizantes minerales con fuentes orgánicas de nitrógeno, como el fijado por leguminosas y microorganismos beneficiosos (por ejemplo, *Azotobacter*, *Azospirillum*, algas verdeazuladas

y Azolla), así como el aportado por enmiendas orgánicas como estiércol, compost, vermicompost, restos de cultivos y otros subproductos agrícolas, dentro de esquemas de economía circular (Brunelle *et al.* 2024). Esta estrategia no solo busca mantener la fertilidad del suelo, sino también reducir la dependencia de insumos químicos. Dentro de este enfoque más amplio y sostenible, cobra especial relevancia el uso de productos biológicos alternativos, como los biofertilizantes y los bioestimulantes a base de microorganismos. Estos organismos beneficiosos, conocidos como PGPM (*Plant Growth-Promoting Microorganisms*), habitan en el suelo o en el interior de las raíces y desempeñan funciones clave en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Vessey 2003).

En el ámbito de la gestión de fertilizantes, resulta importante señalar también la implementación nel desarrollo de fertilizantes más sostenibles mediante tecnologías limpias, como la producción de amoníaco verde a partir de fuentes renovable, que representa un avance importante hacia la descarbonización del sector agrícola (IEA 2024).

nuevo nuevo
nuevo nuevo
nuevo nuevo
nuevo nuevo

Arctise® 480 SC

In



Arctise® 480 SC aquí a mano

Arctise® 480 SC es un insecticida de origen natural con modo de acción único que actúa por contacto e ingestión. Posee un registro amplio de usos ofreciendo un manejo eficaz, duradero y seguro en el control de trips y orugas en los cultivos de hortalizas, frutales, viña y uva de mesa, respetando la fauna beneficiosa y siendo ideal para programas de manejo integrado. Certificado para producción ecológica.

selectis®
— A ROVENSA COMPANY —

Los PGPM como solución sostenible

Los PGPM no solo ayudan a las plantas a absorber mejor los nutrientes disponibles, sino que también pueden solubilizar formas inaccesibles de fósforo y potasio o fijar nitrógeno atmosférico. Este último proceso, conocido como fijación biológica del nitrógeno, es realizado por bacterias diazotróficas que pueden establecer relaciones simbióticas, asociativas o de vida libre con las plantas (Sun *et al.* 2021). La acción de estos microorganismos no se limita a los nutrientes. Muchos de ellos también regulan la producción de fitohormonas como auxinas, giberelinas, citoquininas y ácido abscísico, que influyen en el desarrollo de raíces y brotes (Bonini *et al.* 2020). Algunos incluso inducen mecanismos de defensa sistémica en las plantas, lo que mejora su capacidad para enfrentar plagas y enfermedades (Bukhat *et al.* 2020). Además, ciertas cepas microbianas producen metabolitos como sideróforos, enzimas líticas, antibióticos y compuestos volátiles que protegen a las plantas de patógenos y condiciones de estrés (Wang *et al.* 2021a). Los beneficios agronómicos del uso de PGPM están bien documentados. Diversos estudios demuestran que, incluso con una reducción del 50% en el uso de fertilizantes químicos, la combinación con microorganismos beneficiosos permite mantener —e incluso mejorar— la productividad, la calidad del cultivo y la salud del suelo. En cultivos como lechuga, tomate, trigo y, especialmente, patata, se ha observado una mejora significativa en el peso, la firmeza y el valor nutricional de los productos cosechados (Ollio *et al.* 2025).

Estrategias para la reducción de fertilizantes en cultivos hortícolas

Reducir el uso de fertilizantes minerales en los cultivos hortícolas es un desafío crucial para lograr una agricultura más sostenible. Diversas investigaciones han propuesto estrategias adaptadas a diferentes especies. Por ejemplo, en cultivos como la canola y



Cultivo de melón, temporada 2022.

la rúcula se ha evaluado el aumento de la densidad de plantas como forma de optimizar la captación de nutrientes (Kristensen and Stavridou 2017; Ren *et al.* 2017). En sistemas de rotación hortícola (tomate, endivia, berenjena, brócoli), el uso de residuos urbanos compostados ha mostrado ser una alternativa efectiva para mejorar la fertilidad del suelo y reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos (Zaccardelli *et al.* 2021). También se ha probado la aplicación de biochar en cultivos de col y amaranto, mejorando la eficiencia del uso de nutrientes (Manka'abusi *et al.* 2024). En el caso de la col china, estrategias como la reducción del aporte de fósforo combinada con la incorporación de paja han permitido mantener rendimientos adecuados minimizando el uso de fertilizantes (Zhao *et al.* 2024). Asi-

mismo, en cultivos de lechuga, la aplicación de fertilizantes de liberación controlada junto con inhibidores de la nitrificación ha permitido reducir las pérdidas de nitrógeno y mejorar el aprovechamiento del fertilizante (Wang *et al.* 2024). Otras estrategias apuntan a la selección de cultivares mejor adaptados a las condiciones estacionales, como se ha demostrado en brócoli y lechuga (Conversa *et al.* 2019; Conversa and Elia 2019), o a la utilización de microorganismos beneficiosos: por ejemplo, la inoculación con hongos micorrízicos en tomate (Ziane *et al.* 2021), el uso de consorcios de bacterias y hongos no micorrízicos en patata (Ollio *et al.* 2025) o la aplicación de rizobacterias en lechuga (Ikiz *et al.* 2024). Finalmente, la práctica de cultivos intercalados con leguminosas ha mostrado beneficios importantes en cultivos como brasicáceas (Xie and Kristensen 2016; Cuartero *et al.* 2022), melón (Marcos-Pérez *et al.* 2023) y patata (Gitari *et al.* 2020), promoviendo una mejora natural de la fertilidad del suelo y reduciendo la necesidad de fertilización externa.

Una revisión realizada en China sobre 102 estudios relacionados con cultivos hortícolas en distintas regiones evidenció que las tasas de reducción de fertilización nitrogenada variaban considerablemente dependiendo de las prácticas de manejo, el tipo de cultivo, las condiciones del suelo y el clima, tanto en invernadero como en campo abierto (Fan *et al.*, 2024). Por tanto, no existe un nivel de reducción aplicable universalmente, sino que este debe ajustarse a factores agronómicos y ambientales específicos. La eficiencia en el uso de fertilizantes no puede abordarse mediante soluciones estandarizadas, ya que cada sistema agrícola presenta particularidades propias en cuanto a cultivos, suelos, condiciones climáticas y prácticas de manejo. En este sentido, la reducción de la fertilización debe plantearse como un proceso racional y adaptativo, que combine el conocimiento técnico con una evaluación constante de las condiciones locales. Solo me-



st14



ECOTOP es una formulación líquida con certificación ecológica especialmente diseñada para potenciar la fase de cuajado y el rendimiento del cultivo.

ECOTOP incorpora el exclusivo **potenciador del cuajado st14**, que optimiza la síntesis natural de auxinas.

Este potenciador, combinado con el extracto de algas *Ascophyllum nodosum* y **manitol**, ambos osmorreguladores de gran calidad, **bioestimula** y mejora la **tolerancia del cultivo frente a condiciones de estrés** en la fase de cuajado.

Además, **ECOTOP** presenta un equilibrio óptimo de **Boro, Zinc y Molibdeno**, aportando una doble sinergia entre micronutrientes para la planta.

ALMENDRA



40 %*
más de producción

MANZANA



11 %*
más de producción

CALABACÍN



47 %*
más de producción

NARANJA



15 %*
más de producción

*Estos resultados han sido obtenidos en ensayos de campo reales. ECOTOP ha sido testado en multitud de cultivos, para obtener más información: info@herogra.com.



Cultivo de patata, temporada 2023.

diante este enfoque contextualizado es posible avanzar hacia una agricultura más sostenible, manteniendo al mismo tiempo la productividad y la viabilidad económica de las explotaciones.

El proyecto europeo SoildiverAgro: la investigación de campo y las soluciones identificadas en nuestra experiencia

En este contexto se inserta el proyecto europeo SoildiverAgro, financiado por el programa Horizon 2020 de la Unión Europea. Esta iniciativa tiene como objetivo fomentar la biodiversidad del suelo y reducir el uso de insumos químicos en la agricultura, sin comprometer la productividad. Coordinado por la Universidad de Vigo, el proyecto cuenta con la participación de 22 socios en nueve regiones europeas.

Uno de los ensayos piloto más representativos se ha llevado a cabo en el sur de España, en el Campo de Cartagena. La Universidad Politécnica de Cartagena, en colaboración con agricultores locales, diseñó una estrategia de rotación de cultivos, reducción de fertilización mineral tradicional, un

suministro de nutrientes semanalmente ajustado a las necesidades de las plantas y aplicación de consorcios microbianos. Esta estrategia permitió evaluar tanto la respuesta del cultivo como los cambios en el suelo.

Los resultados fueron contundentes. La reducción de fertilizantes no afectó negativamente la producción, y la aplicación de microorganismos beneficiosos mejoró significativamente parámetros clave como el peso de los

tubérculos en patata, la firmeza de la pulpa en melón y en patata. También se observó una reducción en las emisiones de CO₂, así como una mejora de la biodiversidad y la funcionalidad del suelo y disminución en la presencia de fitopatógenos.

Bibliografía

Queda a disposición del lector interesado en el correo electrónico: redaccion@editorialagricola.com

A MODO DE CONCLUSIÓN

Además de los avances científicos y tecnológicos, las políticas públicas son clave para impulsar esta transición. Se requiere una estrategia integral que combine incentivos económicos, disponibilidad de biofertilizantes, apoyo técnico y programas de capacitación continua para los productores. La formulación de políticas eficaces debe involucrar a todos los actores del sistema agroalimentario desde agricultores y consumidores hasta empresas del sector y la industria de insumos— con el objetivo de promover una agricultura sostenible y proteger el medio ambiente.

En conclusión, el futuro de la agricultura depende de nuestra capacidad para transformar profundamente la forma en que alimentamos nuestras plantas. Si bien los fertilizantes químicos han sido fundamentales en el desarrollo agrícola del siglo XX, hoy resultan insuficientes (y en muchos casos contraproducentes) frente a los retos ecológicos, económicos y sociales actuales. La integración de microorganismos beneficiosos, fertilizantes orgánicos y buenas prácticas agronómicas ofrece una alternativa viable y comprobada para combinar productividad, sostenibilidad y resiliencia en los sistemas agrícolas del siglo XXI.

EL CAMPO SE MUEVE. **NOSOTROS TAMBIÉN.**

Este Demoagro entramos en acción.

Visítanos del **20 al 22 de mayo**

en las parcelas **R7 y C12.**

Prueba nuestra gama más completa

y llévate un regalo muy especial.

¡Te esperamos!



www.masseyferguson.com



MASSEY FERGUSON