



Biotecnología aplicada a la agricultura: recuperando la salud de nuestros suelos

En este estudio ponemos el foco en el concepto de la "biotecnología agrícola" como herramienta clave para mejorar la productividad y la sostenibilidad de la agricultura actual, así como avanzar hacia una producción más sostenible, resiliente y acorde con la normativa actual.

Teresa Blasco Pérez

Gestora Biotecnológicos Fertilberia TECH

INTRODUCCIÓN

Desde la Revolución verde sobre los años 60, la aplicación de fertilizantes ha ayudado a aumentar las producciones de nuestros campos y a alimentar a una creciente población mundial. En contra, hemos venido intensificado el monocultivo sin ser conscientes de que, a largo plazo, estábamos fomentando la degradación de los suelos, eliminando el microbioma y desequilibrando el ecosistema.

Hoy en día el reto es aún mayor, ya que seguimos teniendo la necesidad de producir más en suelos menos fértiles y más contaminados. La situación actual exige estrategias de fertili-

zación más respetuosas con el medio ambiente, optimizando el uso de las unidades fertilizantes aportadas e intentado recuperar el equilibrio natural de los ecosistemas agrícolas.

Tanto por su importancia en la fertilización como por el potencial de contaminación hídrica y atmosférica que presentan, debemos centrar los esfuerzos en los fertilizantes nitrogenados.

Así pues, el manejo adecuado del nitrógeno en conjunto con los demás elementos, la comprensión del microbioma del suelo y el uso de biotecnologías avanzadas representan pilares fundamentales para la agricultura del futuro.

La combinación de prácticas regenerativas, herramientas microbianas y un marco normativo sólido permitirá desarrollar agroecosistemas más productivos, resilientes y sostenibles.

CONTEXTO LEGAL ACTUAL

Son varias las legislaciones actuales que están acelerando la necesidad de poner en el mercado productos que permitan mejorar la sostenibilidad ambiental, especialmente en relación con el agua, el suelo y el uso de nutrientes.

La Directiva Marco del Agua (2000/60/CE) establece objetivos de calidad ambiental para las masas



► SON VARIAS LAS LEGISLACIONES ACTUALES QUE ESTÁN ACELERANDO LA NECESIDAD DE PONER EN EL MERCADO PRODUCTOS QUE PERMITAN MEJORAR LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL, ESPECIALMENTE EN RELACIÓN CON EL AGUA, EL SUELO Y EL USO DE NUTRIENTES

de agua, mientras que la estrategia “De la Granja a la Mesa” fija metas como reducir en un 50 % las pérdidas de nutrientes. Estas exigencias se integran en la PAC 2023-2027, que condiciona el acceso a ayudas al cumplimiento de dichas normas.

En España, el Real Decreto 47/2022, que transpone la Directiva de Nitratos, regula la protección de las aguas frente a la contaminación agraria. Define las zonas vulnerables, obliga a aplicar buenas prácticas agrarias y establece límites de concentración de nitratos en aguas superficiales y subterráneas.

El Real Decreto 1051/2022, modificado por el RD 934/2025, establece normas para la nutrición sostenible en los suelos agrarios, incluyendo la reducción del uso de fertilizantes, el Cuaderno digital de explotación, la obligatoriedad del plan de abonado y restricciones temporales y ambientales a la fertilización.

A nivel europeo, la nueva Ley de Vigilancia del Suelo impulsa la protección y restauración de los suelos agrícolas, con metas como alcanzar

suelos sanos para 2050. Introduce distritos edáficos, un sistema armonizado de vigilancia, la gestión sostenible del suelo y un registro de suelos contaminados basado en el principio de responsabilidad ambiental.

Ante estas exigencias normativas y ambientales, la biotecnología se presenta como una herramienta clave para mejorar la productividad y sostenibilidad de la agricultura actual.

¿QUÉ ES LA BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA?

La biotecnología agrícola se refiere al conjunto de técnicas que utilizan organismos vivos o sustancias derivadas de ellos con el fin de hacer la producción agrícola **más eficiente**, es decir, combina conocimientos, herramientas y técnicas **de biología, genética, bioquímica y agronomía** para optimizar los sistemas de cultivo y las prácticas agrícolas.

La biotecnología ya está siendo aplicada tanto en fertilizantes minerales (como por ejemplo el uso de bioinhibidores de la nitrificación) como en el

desarrollo de productos biofertilizantes o de biocontrol.

IMPORTANCIA DEL NITRÓGENO EN EL SUELO: MOTOR DE LA FERTILIDAD AGRÍCOLA

El nitrógeno (N) es un elemento esencial para la vida vegetal. Forma parte de aminoácidos, proteínas, enzimas y ácidos nucleicos. La fertilidad nitrogenada del suelo depende de un conjunto de transformaciones biológicas y químicas que convierten el nitrógeno atmosférico y orgánico en compuestos inorgánicos asimilables como el amonio (NH_4^+) y el nitrato (NO_3^-). Además de estos aportes, en los sistemas agrícolas la principal fuente de nitrógeno se consigue a través de la aplicación de fertilizantes nitrogenados.

Es importante destacar que la forma ureica del nitrógeno, presente en muchos fertilizantes, no es directamente asimilable por las raíces; debe pasar por una serie de reacciones químicas mediadas por microorganismos que contienen la enzima ureasa para transformarse en nitrógeno amoniacal. Durante estas transformaciones es común que se produzcan pérdidas por volatilización, que pueden llegar a suponer hasta un 40 % sobre el nitrógeno total aplicado, especialmente cuando el abono se aplica en la superficie del terreno y en días calurosos. Por ello, la forma más recomendable de fertilización mineral es la nitríca amoniacal, ya que permite reducir estas pérdidas.

Transformaciones principales del ciclo del nitrógeno

Como se ha mencionado, el nitrógeno se transforma constantemente entre distintas formas mediante procesos mediados por microorganismos y las condiciones ambientales. ►

RAYADO Y PICADO de pasillos de establos

Marcos Villamide:
626 096 129



Marcos Villamide Construcciones S.L.U | Álvare, s/n 27248 A Pastoriza (Lugo)

En términos generales, las principales transformaciones son las siguientes:

- *Mineralización: de nitrógeno orgánico a nitrógeno mineral*

En los suelos agrícolas, entre el 90 y el 95 % del nitrógeno se encuentra en formas orgánicas no disponibles para las plantas. Para que pueda ser asimilable, debe mineralizarse. Durante este proceso, los microorganismos descomponen la materia orgánica y liberan amonio.

Nitrificación: de nitrógeno en forma de amonio a nitrato y nitrito

Cuando el nitrógeno está en forma de amonio en el suelo, ya sea de origen orgánico, mineral o de fijación del N_2 , debe transformarse primero en nitrito y después en nitrato. Esta última es la forma más directamente asimilable por la planta. La nitrificación está mediada por dos tipos de bacterias, las nitrosomonas y las nitrobacterias:

- Nitrosomonas: $NH_4^+ \rightarrow NO_2^-$
- Nitrobacter: $NO_2^- \rightarrow NO_3^-$

Pérdidas de nitrógeno disponible para las plantas

El nitrato es la forma predominante de absorción del nitrógeno por la mayoría de las plantas. El problema reside en que, al ser un elemento muy móvil, es susceptible a grandes pérdidas por lixiviación. Por ello, es muy importante no solo utilizar productos fertilizantes que puedan ir protegidos o inhibidos, sino también tener en cuenta las reacciones microbiológicas que ayuden a evitar estas pérdidas.

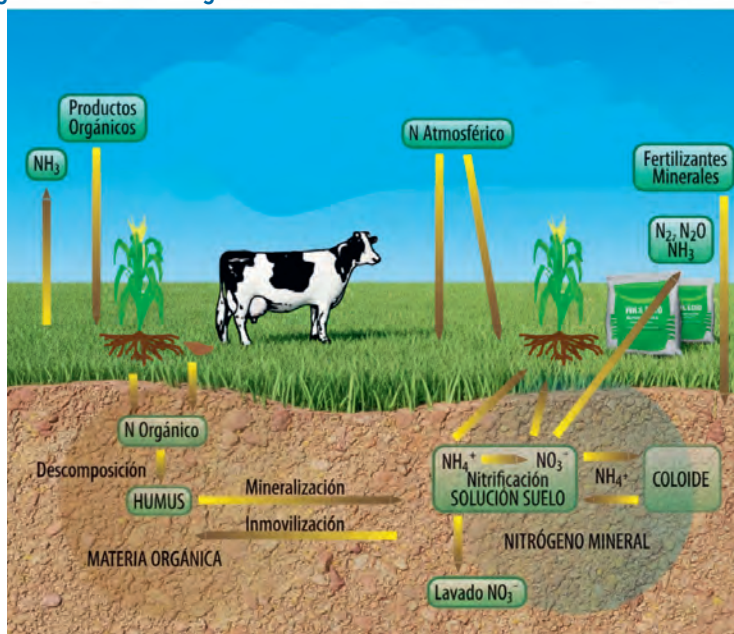
En el mercado existen diferentes opciones dentro de los fertilizantes minerales para poder controlar la actividad del nitrógeno.

Hasta el momento, la manera más generalizada de reducir estas pérdidas es a través de los inhibidores químicos de la de la nitrificación y/o de la volatilización.

Los inhibidores de la volatilización son sustancias químicas que se añaden a los fertilizantes nitrogenados ureicos para **bloquear temporalmente la enzima ureasa** y reducir la pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco (NH_3) hacia la atmósfera.

Los inhibidores de la nitrificación también son compuestos químicos que retrasan el paso de amonio a

Imagen 1. Ciclo del nitrógeno



► LA FORMA MÁS RECOMENDABLE DE FERTILIZACIÓN MINERAL ES LA NÍTRICA AMONÍACAL, YA QUE PERMITE REDUCIR ESTAS PÉRDIDAS

nitrito en el suelo, mediante la inhibición de las bacterias nitrosomonas, por un periodo determinado de tiempo. En general, no actúan sobre el paso de nitrito a nitrato.

El proceso de inhibición está muy influido por el pH del suelo, la temperatura y la humedad.

Los dos inhibidores de la nitrificación cuya comercialización está permitida, tanto por la legislación comunitaria como por la española son la dicianidamida (DCD) y el dimetilpirazol fosfato (DMPP), ambos combinados con diferentes fertilizantes y añadidos en cantidades determinadas en cada caso.

El problema de este tipo de soluciones reside en que, al tratarse de sustancias químicas con efecto bactericida, van a dañar/matar los microorganismos beneficiosos que ayudan a las reacciones del suelo.

En la imagen 2 (pág. sig.) se puede ver la comparativa del efecto bactericida de un inhibidor clásico de la nitrificación sobre varios microor-

ganismos beneficiosos del suelo. Por el contrario, en la parte superior se muestra como el bio-inhibidor respeta totalmente a la vida microbiana.

Además, aunque estos inhibidores ralentizan esta transformación, una vez que el nitrógeno esté en la forma nítrica queda susceptible de lixiviación. Por tanto, es necesaria la aplicación de algún tipo de protección sobre el nitrógeno nítrico. En el mercado existe un polímero regulador de origen vegetal que, recubriendo los gránulos de abono, pueden minimizar las pérdidas tanto del nitrógeno (también en forma de nitrato), como de los demás elementos.

Bioinhibición del nitrógeno para respetar el microbioma del suelo

Recientemente, se ha puesto en el mercado el primer bioinhibidor de la nitrificación. Este gran avance incorpora una nueva ruta de recuperación del nitrógeno llamada asimilación.

La base de esta nueva tecnología, patentada en Europa, es un microor-

► SE PASA DE OFRECER SOLUCIONES DE FERTILIZACIÓN BASADAS EXCLUSIVAMENTE EN LOS NUTRIENTES PARA PONER EL FOCO EN LO VERDADERAMENTE IMPORTANTE: LA PLANTA Y SU INTERACCIÓN CON LOS MICROORGANISMOS DEL SUELO

Imagen 2. Efectos de las sustancias inhibidoras en poblaciones microbianas

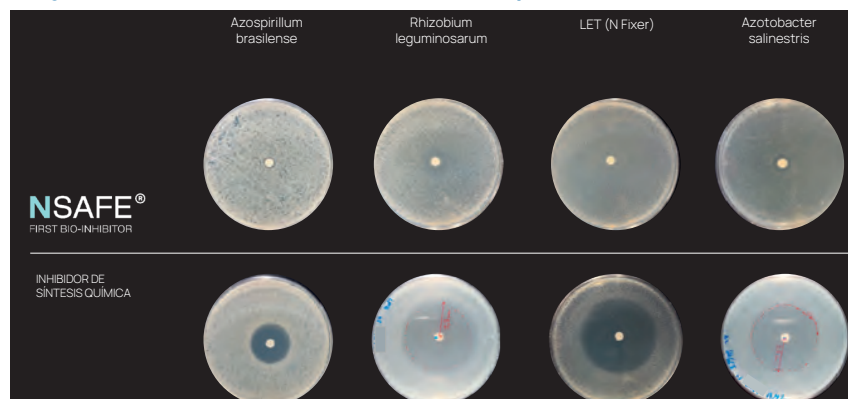
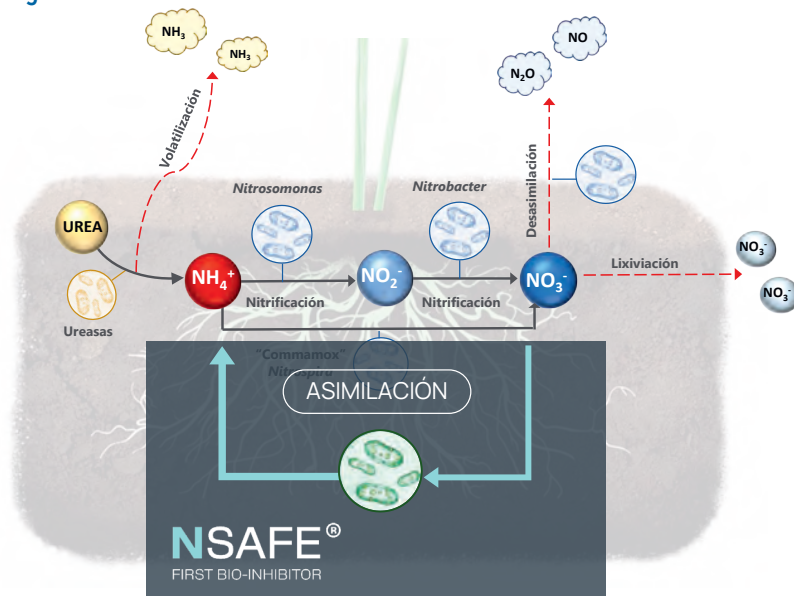


Imagen 3. Vía de funcionamiento del bioinhibidor de la nitrificación



ganismo, concretamente **cepa específica de *Bacillus subtilis***, que previene la lixiviación del nitrógeno en el suelo y la emisión de gases efecto invernadero de forma equivalente a los inhibidores químicos de síntesis. Este microorganismo, incorporado en el grano de abono, aumenta la eficiencia agronómica del nitrógeno e incrementa el rendimiento de los cultivos.

Como se ve en la imagen 3, el microorganismo asimila el nitrógeno en forma nítrica, lo transforman en proteína y lo libera en forma de nitrógeno orgánico, volviendo de esta forma al inicio del ciclo. Reduce también la volatilización del óxido nítrico al impedir la desnitrificación del nitrato. Además, se preserva la biodiversidad al no afectar a los microorganismos del suelo ni a sus actividades.

¿Y cómo evitamos el lavado de otros nutrientes?

Además de esta nueva herramienta, hay que tener en cuenta la necesidad de proteger también otros nutrientes móviles como son el azufre o el potasio. La única forma de actuar sobre la eficiencia de estos nutrientes es recubriendo el grano de abono. La clave reside en encontrar un recubrimiento que sea a base de un polímero biodegradable, que sea natural y permita la disponibilidad de los nutrientes a la planta.

Existe ya una opción en el mercado que ofrece estos beneficios. Actúa formando una protección física sobre los nutrientes del gránulo de fertilizante, permitiendo una liberación

lenta de los nutrientes en una fase inicial y, al mismo tiempo, reteniéndolos en la zona de disolución de los gránulos, debido a la formación de un gel que ralentiza la movilidad de los nutrientes. Esto evita su lixiviación desde la rizosfera, de modo que permanecen disponibles para la absorción por las plantas durante un largo período.

OTROS USOS DE LA BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA

Además de las soluciones aportadas para aumentar la eficacia de la fertilización nitrogenada, la biotecnología ofrece soluciones innovadoras para restaurar la funcionalidad del suelo mediante el uso de biofertilizantes que aumentan la concentración de

microorganismos beneficiosos en función de las necesidades de cada suelo.

Es muy importante aclarar cómo en la interacción de la planta-microbioma-ambiente es donde reside la clave del éxito: se pasa de ofrecer soluciones de fertilización basadas exclusivamente en los nutrientes para poner el foco en lo verdaderamente importante: la planta y su interacción con los microorganismos del suelo.

Para hacernos una idea del potencial que tenemos, debemos saber que en un gramo de suelo sano hay más bacterias que personas en el mundo. Es lo que denominamos 'microbioma del suelo'. Este se relaciona con las plantas en una simbiosis en la que la planta aporta carbohidratos procedentes de la fotosíntesis ►►

que transloca a las raíces (más de un 10 % de los carbohidratos que genera los cede) y allí son puestos a disposición de los microorganismos. Los microorganismos, a cambio, le conceden algún beneficio, ya sea en forma de nutrientes, defensa o activación de algún mecanismo fisiológico beneficioso.

Microorganismos claves para el equilibrio del suelo

Dentro de los millones de microorganismos presentes en nuestros suelos, ya sabemos los que son clave para un buen funcionamiento del suelo y de sus procesos bioquímicos. Cuando nos referimos a nutrición o protección del nitrógeno, son las rizobacterias promotoras del crecimiento (PGPR por sus siglas en inglés) las que nos aportan mayores beneficios.

Estos microorganismos son actores principales en los procesos bioquímicos esenciales como:

- **Ciclo del nitrógeno:** incluye la mineralización, nitrificación y desnitrificación. Además, la fijación biológica del N_2 .
- **Ciclo del carbono:** la formación de humus y la actividad microbiana determinan la capacidad del suelo para almacenar carbono.
- **Ciclo del fósforo y azufre:** regulados por microorganismos que solubilizan compuestos minerales y liberan nutrientes.

Por destacar algunas de ellas, en cuanto a la fijación del nitrógeno atmosférico las más relevantes son *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter vinelandii* y *Rhizobium leguminosarum*; en cuanto a la actividad sobre el fósforo, *Pseudomonas putida* y para la optimización del uso del nitrógeno en fertilizantes, *Bacillus subtilis*.

La fijación biológica del nitrógeno representa la fuente natural más sostenible de nitrógeno para los agroecosistemas, utilizando una fuente gratuita como es el N_2 atmosférico. En aquellos productos que centran su actividad en la fijación del nitrógeno, estas bacterias actúan convirtiendo el N_2 atmosférico en NH_4^+ mediante enzimas denominadas nitrogenasas.

► RECUPERAR LA SALUD DEL SUELO NO ES SOLO UNA NECESIDAD AGRONÓMICA, SINO UN REQUISITO ESENCIAL PARA GARANTIZAR LA SOSTENIBILIDAD ALIMENTARIA Y AMBIENTAL DEL FUTURO

Las rizobacterias promotoras del crecimiento (PGPR), durante su interacción con la planta, son capaces de intervenir en los procesos fisiológicos por varias vías.

Una de las más importantes es la activación de síntesis de fitohormonas vegetales. Por ejemplo, sabemos que la aplicación de biofertilizantes con *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter vinelandii*, *Rhizobium leguminosarum*, y *Pseudomonas putida*, promueven la síntesis de ácido indolacético, un tipo de auxina que promueve el crecimiento vegetal. Por eso, en aplicaciones de productos con estas bacterias obtenemos un mejor desarrollo radicular tanto primario como secundario y una mejor implantación y desarrollo del cultivo.

Otra de las reacciones fisiológicas sobre las que intervienen es la síntesis de una enzima llamada Acc-desaminasa. Esta enzima juega un papel esencial en la tolerancia de las plantas a distintos tipos de estreses, tanto bióticos como abióticos. Cuando las plantas están estresadas, sintetizan lo que se ha denominado la fitohormona de finalización, el etileno. Ese etileno es la señal dentro de la planta que la pone en alerta para comunicar que hay un estrés y que debe acelerar su ciclo.

Con la síntesis de la Acc-desaminasa, se neutraliza la síntesis de etileno, de manera que la planta continúa su desarrollo normal alcanzando su máximo potencial productivo y de calidad.

CONCLUSIÓN

En conjunto, el análisis evidencia que la sostenibilidad de los sistemas agrícolas actuales depende de una gestión inteligente del nitrógeno, de la protección del microbioma del suelo y de la adopción de innovaciones biotecnológicas capaces de mejorar la eficiencia nutricional sin comprometer el equilibrio ecológico. Frente a un marco normativo cada vez más exigente y a suelos progresivamente degradados, soluciones como el bioinhibidor de la nitrificación, recubrimientos biodegradables y los biofertilizantes basados en microorganismos beneficiosos representan herramientas clave para avanzar hacia una agricultura más productiva, resiliente y respetuosa con el medio ambiente. Recuperar la salud del suelo no es solo una necesidad agronómica, sino un requisito esencial para garantizar la sostenibilidad alimentaria y ambiental del futuro. ■

BIBLIOGRAFÍA

- Comisión Europea. (2023). Propuesta de Directiva COM(2023) 416 final.
- Cruz O'Byrne, R., Piraneque, N., Aguirre, S. (2023). *Introducción a la biología y microbiología de suelos*. Editorial Unimagdalena.
- Marschner, P. (2012). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press.
- Barker, A. V., & Pilbeam, D. J. (2015). *Handbook of Plant Nutrition*. CRC Press.
- Pessarakli, M. (2014). *Handbook of Plant and Crop Physiology*. CRC Press.
- Ministerio de Medio Ambiente (2009). *Guía Práctica de la Fertilización Racional de los Cultivos en España*.

UNA PROMESA DE FUTURO QUE COMIENZA HOY

Fertiberia
TECH

NSAFE® el primer bio-inhibidor que reduce pérdidas de nitrógeno en aire y suelo

NERGETIC COMPLETE NSAFE® es la evolución en fertilización inteligente: combina un biopolímero orgánico y biodegradable denominado **C-PRO**, junto con un bio-inhibidor de la nitrificación **NSAFE®**, protegiendo nutrientes y optimizando la liberación del nitrógeno.

NSAFE®
FIRST BIO-INHIBITOR



Con **NERGETIC COMPLETE NSAFE®** aumenta la producción y la calidad nutricional de las praderas y los forrajes.

**NERGETIC
COMPLETE**

