



Biotecnoloxía aplicada á agricultura: recuperando a saúde dos nosos solos

Neste estudo poñemos o foco no concepto da “biotecnoloxía agrícola” como ferramenta clave para mellorar a produtividade e a sostibilidade da agricultura actual e avanzar cara a unha produción máis sostible, resiliente e acorde coa normativa actual.

Teresa Blasco Pérez

Xestora Biotecnolóxicos Fertiberia TECH

INTRODUCCIÓN

Desde a Revolución verde sobre os anos 60, a aplicación de fertilizantes axudou a aumentar as producións dos nosos campos e a alimentar unha crecente poboación mundial. En contra, viñemos intensificando o monocultivo sen sermos conscientes de que, a longo prazo, estabamos fomentando a degradación dos solos, eliminando o microbioma e desequilibrando o ecosistema.

Hoxe en día o reto é aínda maior, xa que seguimos tendo a necesidade de producir máis en solos menos fértiles e máis contaminados. A situación actual esixe estratexias de fertilización

máis respectuosas co medio ambiente, optimizando o uso das unidades fertilizantes achegadas e intentando recuperar o equilibrio natural dos ecosistemas agrícolas.

Tanto pola súa importancia na fertilización coma polo potencial de contaminación hídrica e atmosférica que presentan, debemos centrar os esforzos nos fertilizantes nitroxenados.

Así pois, o manexo adecuado do nitróxeno en conxunto cos demais elementos, a comprensión do microbioma do suelo e o uso de biotecnoloxías avanzadas representan piares fundamentais para a agricultura do futuro. A combinación de prácticas rexenerativas, ferramentas

microbianas e un marco normativo sólido permitirá desenvolver agroecosistemas máis produtivos, resilientes e sostibles.

CONTEXTO LEGAL ACTUAL

Son varias as lexislacións actuais que están a acelerar a necesidade de poñer no mercado produtos que permitan mellorar a sostibilidade ambiental, especialmente en relación co auga, o solo e o uso de nutrientes.

A Directiva Marco da Auga (2000/60/CE) establece obxectivos de calidade ambiental para as masas de auga, mentres que a estratexia “Da Granxa á Mesa” fixa metas como reducir nun 50 % as perdas



► SON VARIAS AS LEXISLACIÓNS ACTUAIS QUE ESTÁN ACELERANDO A NECESIDADE DE POÑER NO MERCADO PRODUTOS QUE PERMITAN MELLORAR A SOSTIBILIDADE AMBIENTAL, ESPECIALMENTE EN RELACIÓN COA AUGA, O SOLO E O USO DE NUTRIENTES

de nutrientes. Estas exigencias intégranse na PAC 2023-2027, que condiciona o acceso a axudas ao cumprimento das devanditas normas.

En España, o Real Decreto 47/2022, que transpón a Directiva de Nitratos, regula a protección das augas fronte á contaminación agraria. Define as zonas vulnerables, obriga a aplicar boas prácticas agrarias e establece límites de concentración de nitratos en augas superficiais e subterráneas.

O Real Decreto 1051/2022, modificado polo RD 934/2025, establece normas para a nutrición sostible nos solos agrarios, incluíndo a redución do uso de fertilizantes, o caderno dixital de explotación, a obrigatoriedade do plan de fertilización e restricións temporais e ambientais á fertilización.

A nivel europeo, a nova Lei de vixilancia do solo impulsa a protección e restauración dos solos agrícolas, con metas como alcanzar solos sans para 2050. Introduce distritos edáficos, un sistema harmonizado

de vixilancia, a xestión sostible do solo e un rexistro de solos contaminados baseado no principio de responsabilidade ambiental.

Ante estas esixencias normativas e ambientais, a biotecnoloxía preséntase como unha ferramenta clave para mellorar a produtividade e sustentabilidade da agricultura actual.

QUE É A BIOTECNOLOXÍA AGRÍCOLA?

A biotecnoloxía agrícola refírese ao conxunto de técnicas que utilizan organismos vivos ou substancias derivadas deles co fin de facer a produción agrícola **máis eficiente**, é dicir, combina coñecementos, ferramentas e técnicas de **bioloxía, xenética, bioquímica e agronomía** para optimizar os sistemas de cultivo e as prácticas agrícolas.

A biotecnoloxía xa está a ser aplicada tanto en fertilizantes minerais (coma por exemplo o uso de bioinhibidores da nitrificación) coma no desenvolvemento de produtos biofertilizantes ou de biocontrol.

IMPORTANCIA DO NITRÓXENO NO SOLO: MOTOR DA FERTILIDADE AGRÍCOLA

O nitróxeno (N) é un elemento esencial para a vida vexetal. Forma parte de aminoácidos, proteínas, encimas e ácidos nucleicos. A fertilidade nitroxenada do solo depende dun conxunto de transformacións biolóxicas e químicas que converten o nitróxeno atmosférico e orgánico en compostos inorgánicos asimilables como o amonio (NH_4^+) e o nitrato (NO_3^-). Ademais destas achegas, nos sistemas agrícolas a principal fonte de nitróxeno conséguese a través da aplicación de fertilizantes nitroxenados.

É importante salientar que a forma ureica do nitróxeno, presente en moitos fertilizantes, non é directamente asimilable polas raíces; debe pasar por unha serie de reaccións químicas mediadas por microorganismos que conteñen a encima ureasa para transformarse en nitróxeno amoniacal. Durante estas transformacións é común que se produzan perdas por volatilización, que poden chegar a supoñer ata un 40 % sobre o nitróxeno total aplicado, especialmente cando o fertilizante se aplica na superficie do terreo e en días calorosos. Por iso, a forma máis recomendable de fertilización mineral é a nítrica amoniacal, xa que permite reducir estas perdas.

Transformacións principais do ciclo do nitróxeno

Como se mencionou, o nitróxeno transfórmase constantemente entre distintas formas mediante procesos mediados por microorganismos e as condicións ambientais.

En termos xerais, as principais transformacións son as seguintes:

- Mineralización: nitróxeno orgánico a nitróxeno mineral ►►

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)

Nos solos agrícolas, entre o 90 e o 95 % do nitróxeno atópase en formas orgánicas non dispoñibles para as plantas. Para que poida ser asimilable, debe mineralizarse. Durante este proceso, os microorganismos descompoñen a materia orgánica e liberan amonio.

- **Nitrificación: de nitróxeno en forma de amonio a nitrato e nitrito**
Cando o nitróxeno está en forma de amonio no solo, xa sexa de orixe orgánica, mineral ou de fixación do N_2 , debe transformarse primeiro en nitrito e despois en nitrato. Esta última é a forma máis directamente asimilable pola planta. A nitrificación está mediada por dous tipos de bacterias:

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

Perdas de nitróxeno dispoñible para as plantas

O nitrato é a forma predominante de absorción do nitróxeno pola maioría das plantas. O problema reside en que, ao ser un elemento moi móbil, é susceptible a grandes perdas por lixiviación. Por iso, é moi importante non só utilizar produtos fertilizantes que poidan ir protexidos ou inhibidos, senón tamén ter en conta as reaccións microbiolóxicas que axuden a evitar estas perdas.

No mercado existen diferentes opcións dentro dos fertilizantes minerais para poder controlar a actividade do nitróxeno.

Ata o momento, o xeito máis xeneralizado de reducir estas perdas é a través dos inhibidores químicos da nitrificación e/ou da volatilización.

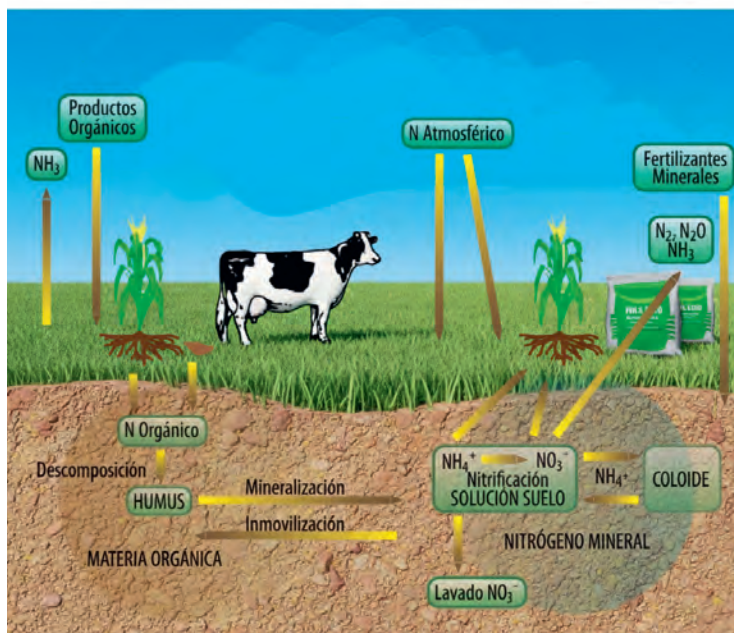
Os inhibidores da volatilización son substancias químicas que se lles engaden aos fertilizantes nitroxenados ureicos para **bloquear temporalmente a encima ureasa** e reducir a perda de nitróxeno en forma de amoníaco (NH_3) cara á atmosfera.

Os inhibidores da nitrificación tamén son compostos químicos que atrasan o paso de amonio a nitrito no solo, mediante a inhibición das bacterias nitrosomonas, por un período determinado de tempo. En xeral, non actúan sobre o paso de nitrito a nitrato.

O proceso de inhibición está moi influído polo pH do solo, a temperatura e a humidade.

Os dous inhibidores da nitrificación cuxa comercialización está

Imaxe 1. Ciclo do nitróxeno



► O XEITO MÁIS RECOMENDABLE DE FERTILIZACIÓN MINERAL É A NÍTRICA AMONÍACAL, XA QUE PERMITE REDUCIR ESTAS PERDAS

permitida, tanto pola lexislación comunitaria como pola española son a dicianidamida (DCD) e o dimetilpirazol fosfato (DMPP), ambos combinados con diferentes fertilizantes e engadidos en cantidades determinadas en cada caso.

O problema deste tipo de solucións reside en que, ao tratárense de substancias químicas con efecto bactericida, van danar/matar os microorganismos beneficiosos que axudan ás reaccións do chan.

Na imaxe 2 (páx. seg.) pódese ver a comparativa do efecto bactericida dun inhibidor clásico da nitrificación sobre varios microorganismos beneficiosos do chan. Pola contra, na parte superior amósase como o bioinhibidor respecta totalmente a vida microbiana.

Ademais, aínda que estes inhibidores retardan esta transformación, unha vez que o nitróxeno estea na forma nítrica queda susceptible de lixiviación.

Daquela, cómpre a aplicación dalgún tipo de protección sobre o

nitróxeno nítrico. No mercado existe un polímero regulador de orixe vexetal que, recubriendo os gránulos de fertilizante, poden minimizar as perdas tanto do nitróxeno (tamén en forma de nitrato) coma dos demais elementos.

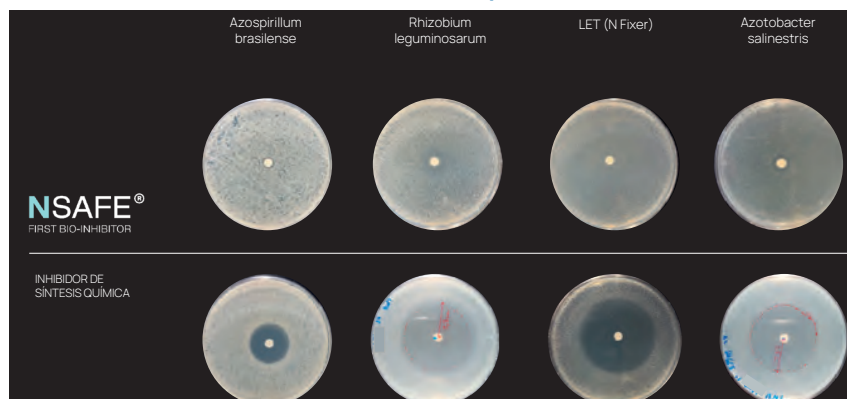
Bioinhibición do nitróxeno para respectar o microbioma do solo

Recentemente, púxose no mercado o primeiro bioinhibidor da nitrificación. Este grande avance incorpora unha nova ruta de recuperación do nitróxeno chamada asimilación.

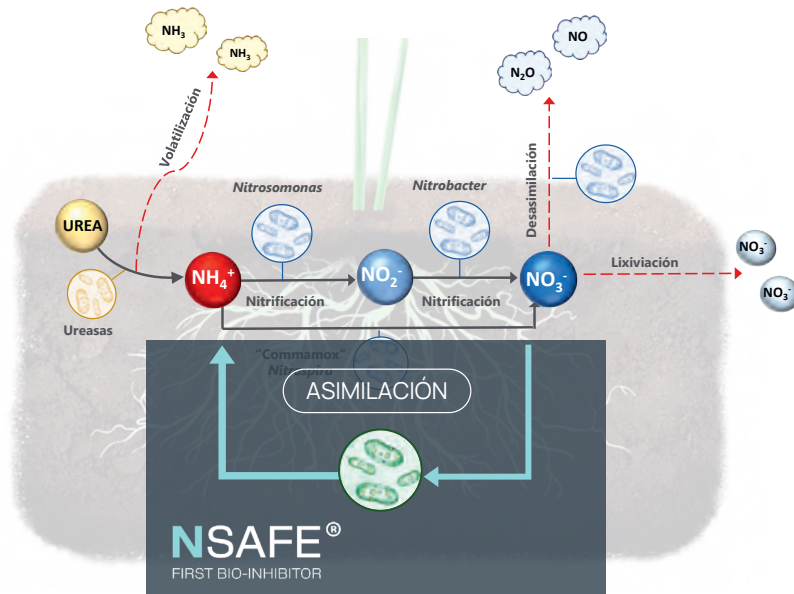
La base de esta nueva tecnología, patentada en Europa, es un microorganismo, concretamente **cepa específica de *Bacillus subtilis***, que prevén a lixiviación do nitróxeno no solo e a emisión de gases de efecto invernadoiro de forma equivalente aos inhibidores químicos de síntese. Este microorganismo, incorporado no gran de fertilizante, aumenta a eficiencia agronómica do nitróxeno e incrementa o rende-

► PÁSASE DE OFRECER SOLUCIÓNS DE FERTILIZACIÓN BASEADAS EXCLUSIVAMENTE NOS NUTRIENTES PARA PÓR O FOCO NO VERDADEIRAMENTE IMPORTANTE: A PLANTA E A SÚA INTERACCIÓN COS MICROORGANISMOS DO CHAN

Imaxe 2. Efectos das substancias inhibidoras en poboacións microbianas



Imaxe 3. Vía de funcionamento do bioinhibidor da nitrificación



mento dos cultivos.

Como se ve na imaxe 3, o microorganismo asimila o nitróxeno en forma nítrica, transfórmao en proteína e libérao en forma de nitróxeno orgánico, volvendo deste xeito ao inicio do ciclo. Reduce tamén a volatilización do óxido nítrico ao impedir a desnitrificación do nitrato. Ademais, presérvase a biodiversidade ao non afectar aos microorganismos do solo nin ás súas actividades.

E como evitamos a lavado doutros nutrientes?

Ademais desta nova ferramenta, hai que ter en conta a necesidade de protexer tamén outros nutrientes móbiles coma o xofre ou o potasio, a única forma de actuar sobre a eficiencia destes nutrientes é recubrendo o gran de fertilizante, a clave reside en atopar un recubrimento que sexa a base dun polímero biodegradable, que sexa natural e permita a dispoñibilidade dos nutrientes para a planta.

Xa existe unha opción no mercado que ofrece estes beneficios. Actúa formando unha protección física sobre os nutrientes do gránulo de fertilizante, permitindo unha liberación lenta dos nutrientes nunha fase inicial e, ao mesmo tempo, reténdoo na zona de disolución dos gránulos, debido á formación dun xel que ralentiza a mobilidade dos nutrientes. Isto evita a súa lixiviación desde a rizosfera, de xeito que permanecen

dispoñibles para a absorción polas plantas durante un longo período.

OUTROS USOS DA BIOTECNOLOXÍA AGRÍCOLA

Ademais das solucións achegadas para aumentar a eficacia da fertilización nitróxena, a biotecnoloxía ofrece solucións innovadoras para restaurar a funcionalidade do solo mediante o uso de biofertilizantes que aumentan a concentración de microorganismos beneficiosos en función das necesidades de cada solo.

É moi importante aclarar como na interacción planta-microbioma-ambiente reside a clave do éxito: pasa de

ofrecer solucións de fertilización baseadas exclusivamente nos nutrientes a poñer o foco no que realmente importa: a planta e a súa interacción cos microorganismos do solo.

Para facernos unha idea do potencial que temos, debemos saber que nun gramo de solo saudable hai máis bacterias que persoas no mundo. É o que denominamos 'microbioma do solo'. Este relaciónase coas plantas nunha simbiose na que a planta proporciona carbohidratos procedentes da fotosíntese que transloca ás raíces (máis do 10 % dos carbohidratos que xera cédeos) e alí pónense á disposición dos microorganismos. ►►

Os microorganismos, a cambio, concédennlle algún beneficio, xa sexa en forma de nutrientes, defensa ou activación dalgún mecanismo fisiolóxico beneficioso.

Microorganismos clave para o equilibrio do solo

Dentro dos millóns de microorganismos presentes nos nosos solos, xa sabemos cales son clave para un bo funcionamento do solo e dos seus procesos bioquímicos. Cando nos referimos á nutrición ou protección do nitróxeno, son as rizobacterias promotoras do crecemento (PGPR polas súas siglas en inglés) as que nos achegan maiores beneficios.

Estes microorganismos son actores principais nos procesos bioquímicos esenciais como:

- **Ciclo do nitróxeno:** inclúe a mineralización, nitrificación e desnitrificación. Ademais, a fixación biolóxica do N_2 .
- **Ciclo do carbono:** a formación de humus e a actividade microbiana determinan a capacidade do solo para almacenar carbono.
- **Ciclo do fósforo e xofre:** regulados por microorganismos que solubilizan compostos minerais e liberan nutrientes.

Por salientar algunhas delas, en canto á fixación do nitróxeno atmosférico as máis relevantes son *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter vinelandii* e *Rhizobium leguminosarum*; en canto á actividade sobre o fósforo, *Pseudomonas putida* e para a optimización do uso do nitróxeno en fertilizantes, *Bacillus subtilis*.

A fixación biolóxica do nitróxeno representa a fonte natural máis sostible de nitróxeno para os agroecosistemas, utilizando unha fonte gratuíta como é o N_2 atmosférico. Naqueles produtos que centran a súa actividade na fixación do nitróxeno, estas bacterias actúan convertendo o N_2 atmosférico en NH_4^+ mediante encimas denominadas nitroxenasas.

As rizobacterias promotoras do crecemento (PGPR), durante a súa interacción coa planta, son capaces de intervir nos procesos fisiolóxicos por varias vías.

Unha das máis importantes é a activación da síntese de fitohormonas vexetais. Por exemplo, sabemos que a aplicación de biofertilizantes con

► RECUPERAR A SAÚDE DO CHAN NON É SÓ UNHA NECESIDADE AGRONÓMICA, SENÓN UN REQUISITO ESENCIAL PARA GARANTIR A SOSTIBILIDADE ALIMENTARIA E AMBIENTAL DO FUTURO

Azospirillum brasilense, *Azotobacter vinelandii*, *Rhizobium leguminosarum*, e *Pseudomonas Putida*, promoven a síntese de ácido indolacético, un tipo de auxina que promove o crecemento vexetal. Por iso, en aplicacións de produtos con estas bacterias obtense un mellor desenvolvemento radicular tanto primario coma secundario e unha mellor implantación e desenvolvemento do cultivo.

Outra das reaccións fisiolóxicas sobre as que interveñen é a síntese dunha encima chamada Acc-desaminasa. Esta encima xoga un papel esencial na tolerancia das plantas a distintos tipos de estrés, tanto bióticos como abióticos. Cando as plantas están estresadas, sintetizan o que se denominou a fitohormona de finalización, o etileno. Ese etileno é o sinal dentro da planta que a pon en alerta para comunicar que hai un estrés e que debe acelerar o seu ciclo.

Coa síntese da Acc-desaminasa, neutralízase a síntese de etileno de xeito que a planta continúa o seu desenvolvemento normal, e alcanza o seu máximo potencial productivo e de calidade.

CONCLUSIÓN

No conxunto, a análise evidencia que a sostibilidade dos sistemas agrícolas actuais depende dunha xestión intelixente do nitróxeno, da protección do microbioma do solo e da adopción de innovacións biotecnolóxicas capaces de mellorar a eficiencia nutricional sen comprometer o equilibrio ecolóxico, fronte a un marco normativo cada vez máis esixente e a solos pro-

gresivamente degradados, solucións como o bioinhibidor da nitrificación, recubrimentos biodegradables e os biofertilizantes baseados en microorganismos beneficiosos representan ferramentas clave para avanzar cara unha agricultura máis productiva, resiliente e respectuosa co medio ambiente, recuperar a saúde do solo non é só unha necesidade agronómica, senón un requisito esencial para garantir a sostibilidade alimentaria e ambiental do 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**

