INNOVABIO
by Timac AGRO

FERTEOS

REGENERADOR RIZOSFÉRICO

DOSSIER TÉCNICO

APTO PARA AGRICULTURA ECOLÓGICA

Timac AGRO

ÍNDICE

ÍNDICE 1
1. INTRODUCCIÓN 2
2. PROBLEMÁTICA 4
3. COMPLEJO FERTEOS 5
4. MODO DE ACCIÓN 7
4.1. ACTIVADOR DE LA VIDA MICROBIANA 7
4.2. REGULA EL CICLO DEL NITRÓGENO 11
4.3. ACTIVA LA FIJACIÓN DEL NITRÓGENO ATMOSFÉRICO 14
5. CONCLUSIONES 16
6. RESULTADOS 16
7. GAMA, DOSIS Y CULTIVOS 17
7.1. FERTEOS PL: Regenerador rizosférico sólido 17
7.2. FERTEOS LQ: Regenerador rizosférico liquido 19
8. PACKAGING 21

ANEXO I: La materia orgánica y su mineralización 22
ANEXO II: Pérdidas de nitrógeno durante su mineralización 27

1. INTRODUCCIÓN

Ninguna institución científica u organización profesional del sector se cuestiona la importancia que tiene un suelo equilibrado en el éxito de un sistema de producción orgánico. En este marco, no se concibe el suelo como un ente meramente físico, contenedor de las plantas y de algunos nutrientes, sino como un sistema vivo en el que interactúan las partículas minerales, los microorganismos y macroorganismos, el humus, el aire, el agua y la planta. El nivel de fertilidad física, química y biológica condicionará el potencial productivo y de calidad.

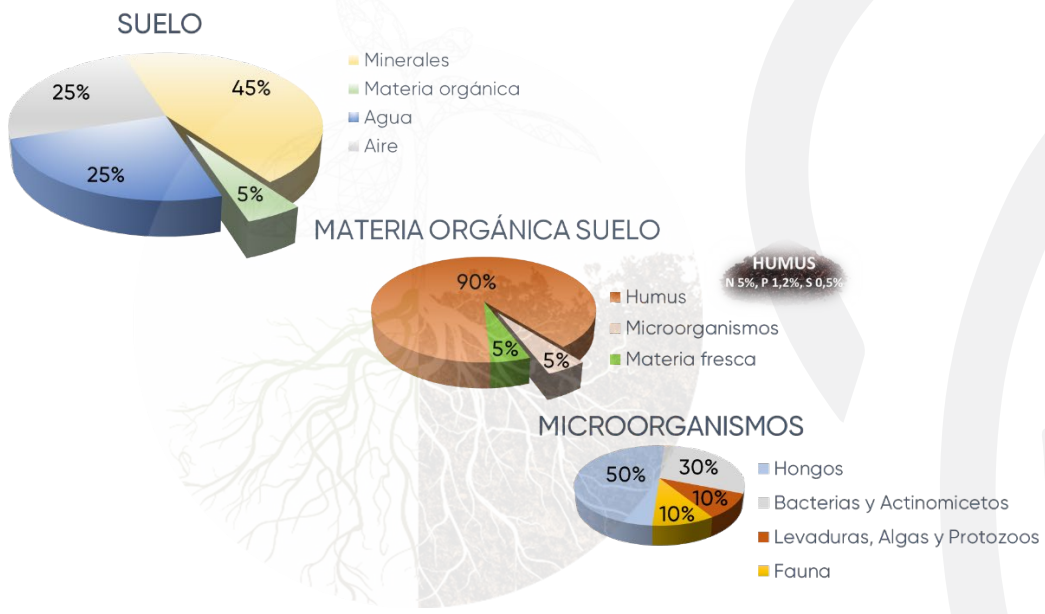


Figura 1. Esquema de la composición media de un suelo, analizando la materia orgánica del suelo, la riqueza media del humus y la biodiversidad de microorganismos. Fuente: TAE

Existen soluciones aplicables a la agricultura ecológico, que permiten optimizar las interacciones bioquímicas que tienen lugar en el suelo y, además, mejorar la fertilidad física, química y biológica del mismo. Con este objetivo, TIMAC AGRO ESPAÑA, ha desarrollado la especificidad FERTEOS, un Regenerador Rizosférico *que activa la microbiota natural del suelo, aumentando la eficiencia del nitrógeno y revalorizando los nutrientes*. Especificidad que acompaña a los distintos fertilizantes sólidos y líquidos de

la gama ecológica FERTEOS para disponer de un completo catálogo de productos nutricionales de fondo, cobertera y fertiirrigación.

APTO PARA AGRICULTURA ECOLÓGICA

SIN PLAZO DE SEGURIDAD

RESIDUO CERO

RESPETUOSO CON LA FAUNA AUXILIAR

2. PROBLEMÁTICA

Desde un punto de vista nutricional, la materia orgánica contiene todos los nutrientes esenciales para el correcto desarrollo de plantas, mesofauna y microorganismos, en forma de azúcares simples y complejos, proteínas, aminoácidos libres, lípidos, fosfolípidos, ácidos nucleicos, etc. Las plantas toman la mayoría de los macronutrientes y micronutrientes en sus formas iónicas (aniones y cationes), aunque tolera la absorción de ciertas cantidades de aminoácidos, azúcares y ácidos fúlvicos.

Dadas unas condiciones adecuadas de temperatura (Tª), humedad (HR), aireación y pH del suelo, la velocidad de la mineralización primaria (k1) y secundaria (k2) viene determinada en gran medida por la relación C/N y el material que compone la materia orgánica (elementos solubles, hemicelulosa, celulosa, lignina, fosfolípidos, etc.) y está regida por la cantidad, diversidad y actividad de microorganismos y macroorganismos.

En términos prácticos, y dependiendo de la calidad, origen y composición de las materias primas empleadas como abonos orgánicos, la mineralización del nitrógeno varía entre un 20% al 90% en el primer año y de un 80%-100% para el fósforo y el potasio. El resto de elementos que se presentan en formas catiónicas están disponibles casi en su totalidad desde el primer año.

Sin embargo, es la materia orgánica humificada del suelo, la mayor fuente de elementos nutricionales esenciales. Ej: un suelo con M.O.=3%, p=0,2m, da=1,4 t/m3 contiene más de 84 T/ha de materia orgánica estabilizada. Conseguir pasar de una tasa de mineralización del 1,5% a un 2,5% supone aumentar en más de 40 Kg de nitrógeno disponible para el cultivo por hectárea. (ANEXO I)

El nitrógeno orgánico puede sufrir, en condiciones propicias, unas pérdidas totales del 65% en su conversión a amonio y nitrato (ANEXO II).

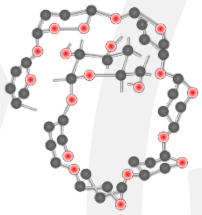
La captación de nitrógeno atmosférico por parte de bacterias fijadoras de nitrógeno en simbiosis con leguminosas o de vida libre, puede suponer una cantidad de nitrógeno fijado de 50-200 kg/ha/año y de hasta 25 kg/ha/año respectivamente.

FERTEOS se presenta como una solución a estas problemáticas, al activar y multiplicar la vida microbiana involucrada en los procesos de mineralización, humificación, solubilización de nutrientes y captación de nitrógeno atmosférico, logrando al mismo tiempo reducir las pérdidas acontecidas en el ciclo del nitrógeno.

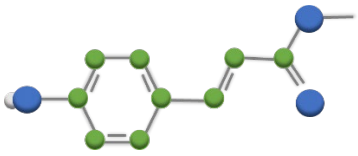
3. COMPLEJO FERTEOS

El Complejo FERTEOS afecta al sistema suelo-planta-atmósfera (Figura 1), y está compuesto por 3 grupos funcionales, obtenidos y aislados, a partir de componentes orgánicos autorizados:

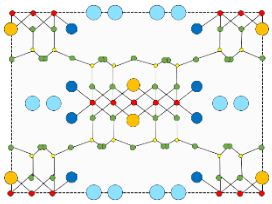
1. Un conjunto de **moléculas poliméricas** que:
   - Potencian la multiplicación microbiana beneficiosa.
   - Activan su metabolismo y actividad enzimática.



2. Un conjunto de **moléculas polifenólicas** específicas que:
   - Regulan la flora microbiana involucrada en el ciclo del nitrógeno.



3. **Moléculas poliméricas** de alto peso molecular
   - Aumentan la fijación de cationes, es decir, mejoran la capacidad de intercambio catiónico (CIC).



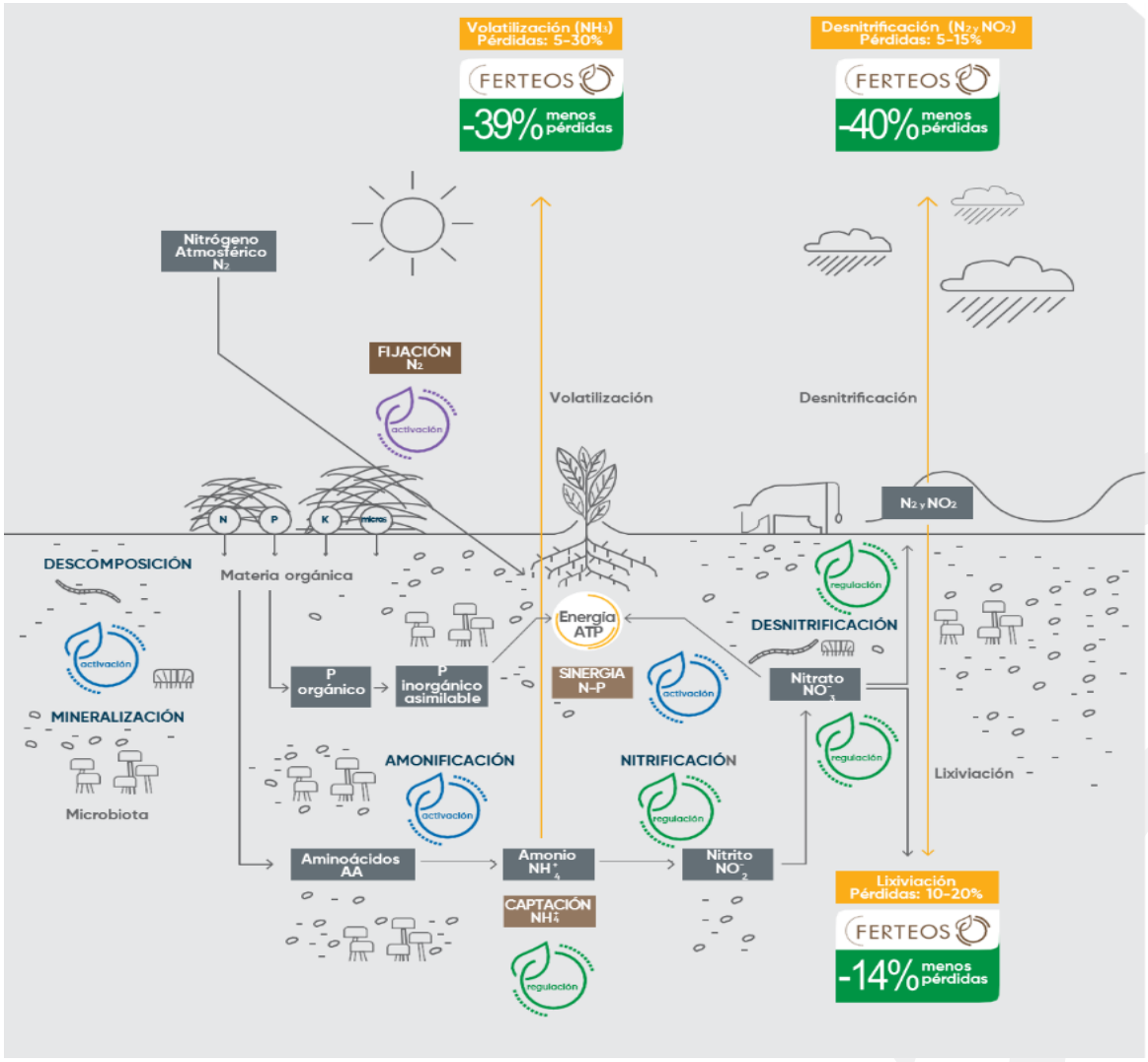


Figura 1. Efecto de FERTEOS en el sistema planta-suelo-atmósfera

OBJETIVO:

- ✓ Activar y Regular la vida microbiana.
- ✓ Regular el ciclo del nitrógeno.
- ✓ Activar la fijación de nitrógeno atmosférico.

4. MODO DE ACCIÓN

Mediante la realización de diferentes ensayos se ha evaluado la acción del Complejo FERTEOS y su efecto como:

1. Activador de la vida microbiana
2. Regulador del ciclo del nitrógeno
3. Activador de la fijación del nitrógeno atmosférico

4.1. ACTIVADOR DE LA VIDA MICROBIANA

El Complejo FERTEOS está compuesto, en primer lugar, por un **conjunto de moléculas poliméricas** que potencian la multiplicación y activación de la vida microbiana. Son moléculas que inciden sobre los microorganismos, actuando como segundo mensajero sobre el metabolismo microbiano. Mediante esta estimulación, FERTEOS multiplica su tasa reproductiva, logrando regenerar la vida microbiana rizosférica y equilibrar la biodiversidad de microorganismos autóctonos de cada suelo.

FERTEOS incrementa la flora microbiana hasta 40 veces sobre el control (Figura 2). Los efectos directos de su acción activadora y reguladora de la vida microbiana son:

- Acelerar la mineralización de la materia orgánica
- Aumentar la cantidad de nitrógeno disponible
- Incrementar la biodisponibilidad de K, Ca, Fe, Zn, Mg, B, Mo, Cu, …
- Favorecer la sinergia N/P
- Potenciar la sinergia microorganismos-planta

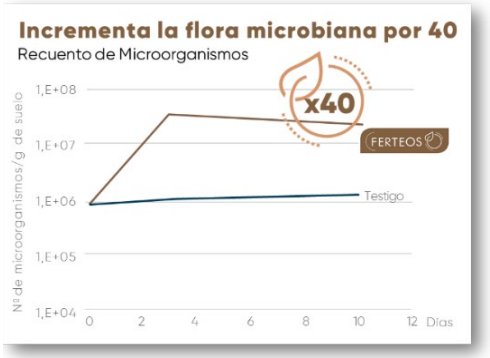


Figura 2. Multiplicación de microorganismos rizosféricos al aplicar FERTEOS. Fuente: INRA (Rennes, Francia)

Consecuencia directa de esta multiplicación microbiana es la **aceleración de la mineralización** de la materia orgánica aportada y de la intrínseca del suelo. FERTEOS favorece el desarrollo de las poblaciones bacterianas de interés agronómico involucradas en el ciclo de mineralización. Entre estos grupos de bacterias beneficiadas se encuentran: bacterias proteolíticas, amonificantes, solubilizadoras, proteobacterias, etc.

Dada su importancia, se ha evaluado el efecto estimulante de **FERTEOS sobre la mineralización del nitrógeno,** midiendo la actividad enzimática de bacterias proteolíticas y contabilizando el número de bacterias amonificantes. Con la aplicación de FERTEOS se ha constatado un aumento del 64% de la actividad arilamidasa, enzima segregada por las bacterias proteolíticas catalizadoras de péptidos y amidas a aminoácidos. La cantidad de bacterias amonificantes, encargadas de transformar los aminoácidos a nitrógeno amoniacal es aumentada 6 veces al aplicar FERTEOS (Figura 3).

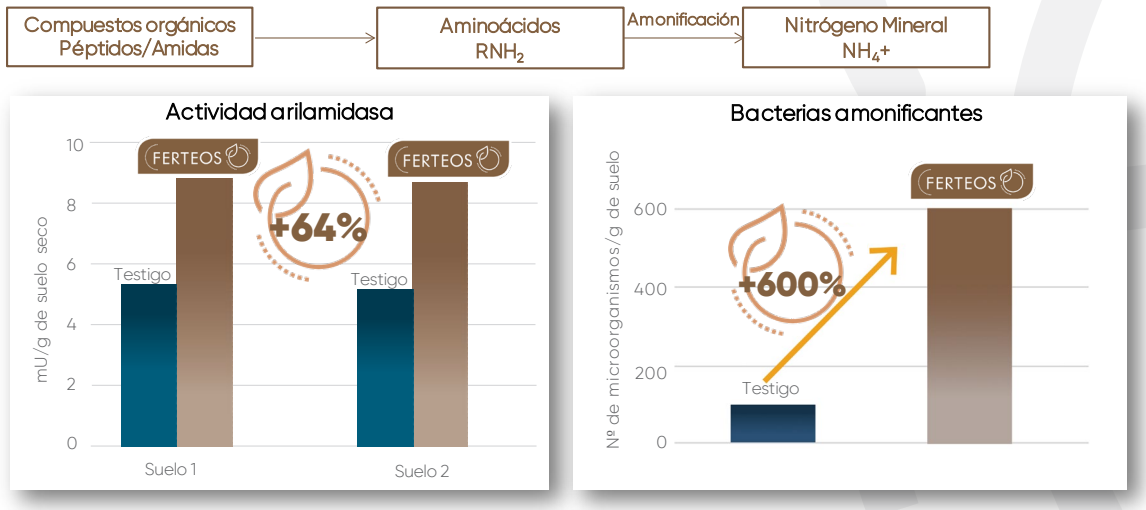


Figura 3. Efecto sobre la mineralización del nitrógeno. Fuente: INRA (Rennes, Francia)

El efecto activador de la vida microbiana también se extiende a otros grupos de bacterias especializadas en la **mineralización del fósforo**. Estas bacterias

segregan enzimas del tipo fosfodiesterasa, responsable del paso de fósforo orgánico a radical, y de tipo fosfatasa, que cataliza la transformación a fósforo inorgánico y disponible para la planta (Figura 4). Paralelamente se estimula la segregación de ácidos orgánicos que favorecen la solubilización de fosfatos insolubles.

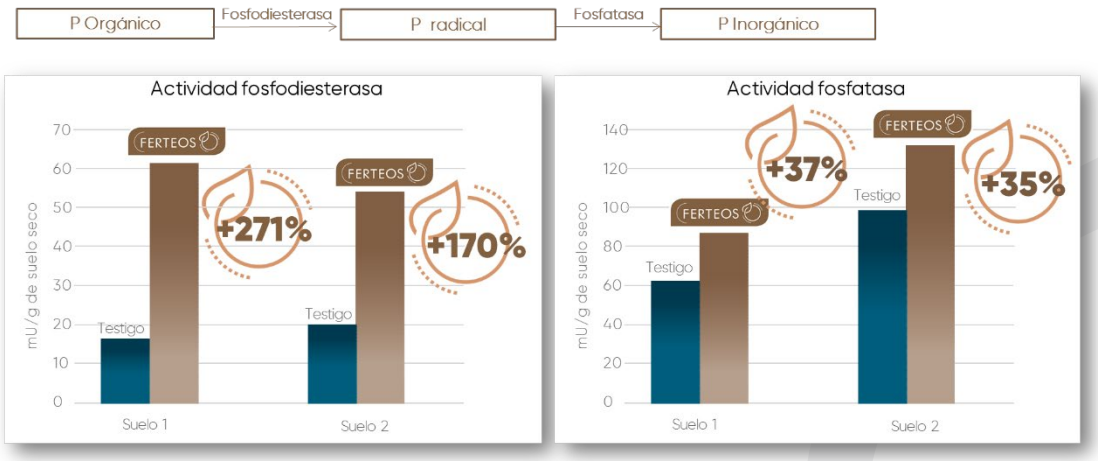


Figura 4. Efecto sobre la mineralización del fósforo orgánico. Fuente: INRA (Rennes, Francia)

Este fósforo inorgánico asimilable es fundamental para la obtención de energía celular (ATP), metabolito intermediario que actúa como donador de energía en la fotosíntesis y respiración celular y como constituyentes de enzimas que favorecen la absorción de nitrógeno en forma de nitrato por la planta. Este subefecto, lo denominamos sinergia N/P, pues logra aumentar la cantidad total de nitrógeno absorbido por la planta en condiciones normales.

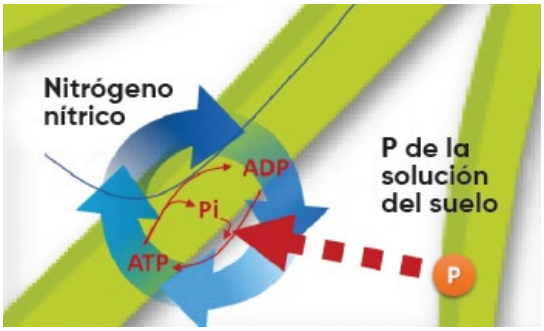


Figura 5. Sinergia Nitrógeno-Fósforo (N/P)

Otra consecuencia que destacar de la mejora en la actividad microbiana en el suelo es que no solamente se logra obtener una mayor cantidad de N y P disponibles para la planta, sino que FERTEOS también **favorece la biodisponibilidad de otros macro y micronutrientes**, mejorando la calidad y el potencial productivo del cultivo.

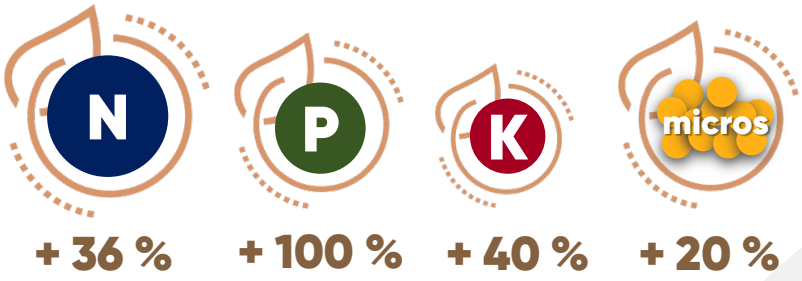


Figura 6. FERTEOS incrementa la biodisponibilidad de macro y micronutrientes. Fuente: INRA (Rennes, Francia)

Por último, FERTEOS **potencia la sinergia microorganismos-planta**. Si bien es cierto que la especialización de FERTEOS se centra en la activación de la microbiota implicada en los mecanismos de mineralización de la materia orgánica y solubilización de sales, también se estimula la actividad y sinergia con las rhizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR). Por ello, cabe mencionar los efectos asociados a estas PGPR:

- Cesión de fitohormonas
- Refuerzan el sistema radicular
- Estimulan la planta
- Aumentan la eficiencia de los nutrientes
- Competencia espacial

Los beneficios de la activación microbiana son:

- Acelerar la mineralización
- Más Nitrógeno disponible
- Mayor biodisponibilidad de otros nutrientes (K, Ca, P, Fe, Zn, Mg, B, Mo, Cu, ...)
- Sinergia N/P
- Sinergia microorganismos-planta

4.2. REGULA EL CICLO DEL NITRÓGENO

Una mayor disponibilidad de nitrógeno es consecuencia del primer y principal efecto de activación y regulación de la vida microbiana, entre otros aspectos, FERTEOS activa y acelera la mineralización de la materia orgánica.

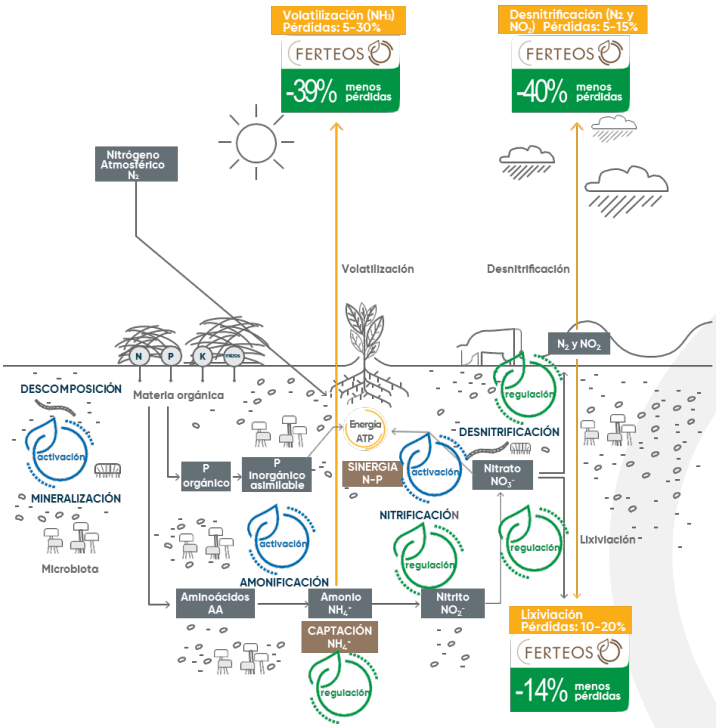


Figura 7. Efecto de FERTEOS sobre el ciclo del nitrógeno

Si nos centramos en el ciclo del nitrógeno, la mineralización se refiere al paso de nitrógeno orgánico a formas inorgánicas asimilables por la planta. Estas formas asimilables, en forma de nitrógeno amoniacal y nítrico, pueden sufrir pérdidas importantes por lavado, desnitrificación o por volatilización. Estas pérdidas se dilatan aún más si la disponibilidad de estas formas nitrogenadas no está en sincronía con la absorción de la planta.

La especificidad FERTEOS incorpora dos grupos funcionales destinados a proteger la sobreexposición de estas formas vulnerables. Contiene un conjunto de **moléculas polifenólicas específicas** que **regulan la flora microbiana involucrada en la nitrificación** y otras de mayor peso molecular que le confieren un **efecto biofijador que actúa aumentando la CIC y reteniendo amonio (NH_4^+)**.

4.2.1. Regulación de bacterias nitrificantes y desnitrificantes:

Por un lado, FERTEOS **regula específicamente la población de bacterias nitrificantes**, responsables de la transformación del amonio en nitratos, sincronizando la liberación de nitrógeno en función de las necesidades de la planta y disminuyendo las pérdidas por lixiviación hasta en un -14 %. Por otro lado, disminuye la población de bacterias desnitrificantes: reduciendo las pérdidas por volatilización de dinitrógeno (N_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2) hasta en un -40%.

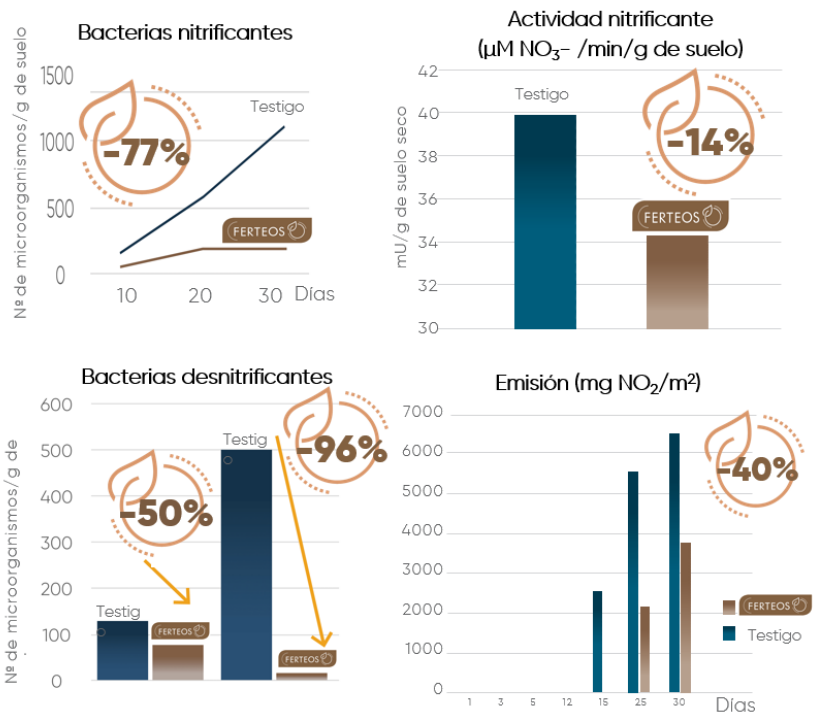


Figura 8. Efecto de FERTEOS como regulador de las bacterias relacionadas con el ciclo del nitrógeno. Fuente: INRA (Rennes, Francia)

Nota: Este efecto regulador se lleva a cabo mediante una ralentización del metabolismo de dichas bacterias. FERTEOS no inhibe o mata las bacterias, sino que se limita a ralentizar su metabolismo y su tasa reproductiva.

4.2.2. Biofijación para la captación de amonio:

Otra vía efectiva de regulación del nitrógeno consiste en aumentar la capacidad de retención del nitrógeno en forma amoniacal. Las moléculas poliméricas de alto peso molecular con **efecto biofijador** presentes en la especificidad FERTEOS, aumentan la densidad de cargas negativas, incrementando la CIC y, por tanto, la retención de amonio. Gracias a ello logramos disminuir especialmente las pérdidas por volatilización en forma de gas amoníaco hasta en un -39% y reduciendo el riesgo de arrastre por lavado (Figura 9).

De esta forma se incrementa la cantidad de nitrógeno disponible en suelo y transformable a nitrato según el ritmo de absorción de la planta.

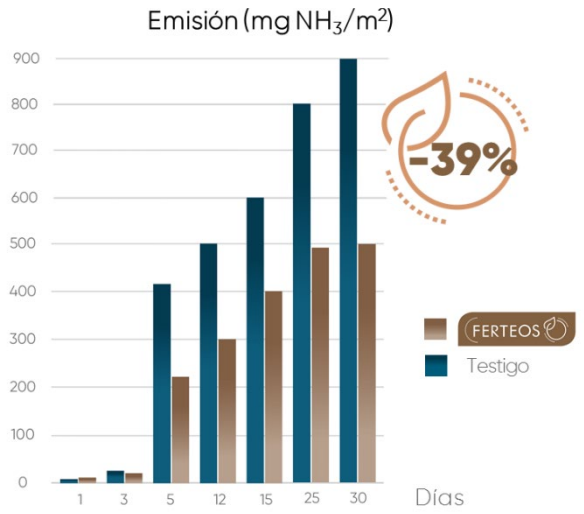


Figura 9. FERTEOS limita las perdidas por volatilación, limitando la emisión de gas amoniaco. Fuente: INRA (Rennes, Francia)

Los beneficios de la regulación del ciclo de nitrógeno son:

- Limita las pérdidas de N por:
  - Lixiviación (NO3-) -14%
  - Desnitrificación gaseosa (N2) -40%
  - Volatilización (NH3) -39%
- Aumenta su disponibilidad en el suelo
- Más nitrógeno disponible para la planta

4.3. ACTIVA LA FIJACIÓN DEL NITRÓGENO ATMOSFÉRICO

Este último efecto es causado por el mismo **conjunto de moléculas poliméricas** que potencian la multiplicación y activación de la vida microbiana ya explicadas en el primer y principal efecto de la especificidad. No obstante, este efecto tiene entidad suficiente como para ser tratado en un punto a parte por la repercusión que supone disponer de una fuente extra de nitrógeno, y con más razón aun cuando hablamos de agricultura ecológica.

Las **moléculas poliméricas** contenidas en FERTEOS inciden sobre los **microorganismos diazótrofos,** que son aquellos que tienen la facultad de generar el Complejo enzimático nitrogenasa y fijar el nitrógeno atmosférico a formas más asimilables por la planta. FERTEOS actúa sobre dichos microorganismos, presentes en el suelo o aportados de forma exógena, activando su proliferación y catalizando su metabolismo con el fin de **estimular su actividad fijadora de nitrógeno**.

Estos microorganismos diazótrofos se dividen en dos grupos principales:

- Bacterias simbióticas, generalmente asociadas a las leguminosas, productoras de nódulos (*Rhizobium, Bradyrhizobium*, etc.) (Figura 10)
- Bacterias de vida libre fijadoras de nitrógeno atmosférico (*Azotobacter*, *Azospirillum*, etc.).

Figura 10. Nódulos formados por bacterias de *Rhizoboium* en leguminosas

Los *Rhizobium* o rizobios son bacterias del perfil de suelo que fijan nitrógeno diazótrofico después de haberse establecido endo-simbióticamente dentro de nódulos radiculares de las leguminosas (*Fabaceae*). Los rizobios no pueden fijar nitrógeno atmosférico sin una planta hospedante. Requieren simbiosis para poder nodular. FERTEOS favorece el desarrollo de estas bacterias, aumentando en más de un 38% el desarrollo de nódulos.

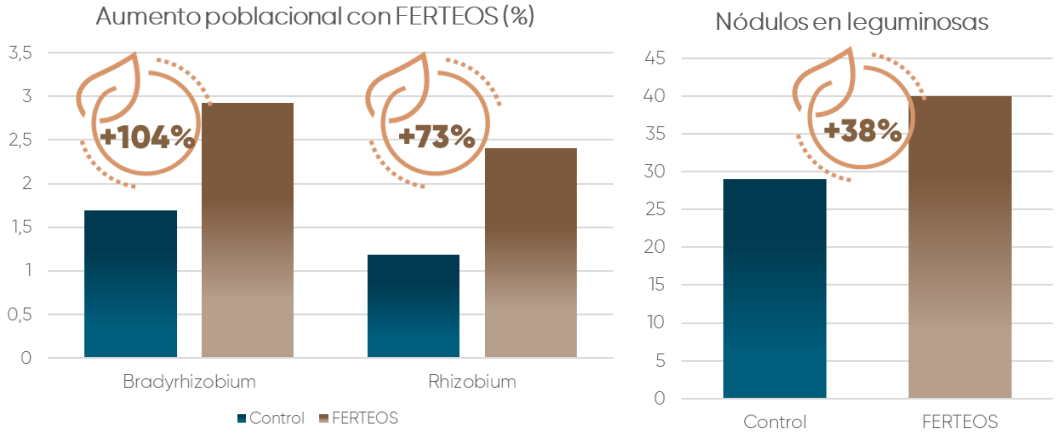


Figura 11. Aumento de los microorganismos fijadores de nitrógeno gracias a FERTEOS, comparándola con un control. (A) Aumento poblacional de bacterias. (B) Aumento del número de nódulos

Las bacterias de vida libre no requieren de una simbiosis forzosa y cuenta con muy diversos filos o familias, siendo las más interesantes las aerobias como *Azotobacter, Beijerinckia* y *Azospirilum*. Tienen la capacidad de crecer en suelo no cultivado pero su presencia es mucho mayor en la rizosfera. FERTEOS también influye sobre estos organismos de vida libre, aumentando su población.

Los beneficios son:

- Mayor desarrollo de nódulos (leguminosas)
- Mayor fijación de nitrógeno atmosférico
- Más nitrógeno disponible para la planta

5. CONCLUSIONES

La aplicación de FERTEOS implica los siguientes beneficios agronómicos:

- SUELOS REGENERADOS Y MÁS VIVOS
- MÁS NITRÓGENO DISPONIBLE DURANTE MÁS TIEMPO
- MAYOR EFICIENCIA DE LOS NUTRIENTES
- CULTIVOS MEJOR NUTRIDOS
- FERTILIZACIÓN RESPETUOSA CON EL MEDIO AMBIENTE
- INCREMENTOS PRODUCTIVOS Y DE CALIDAD

6. RESULTADOS

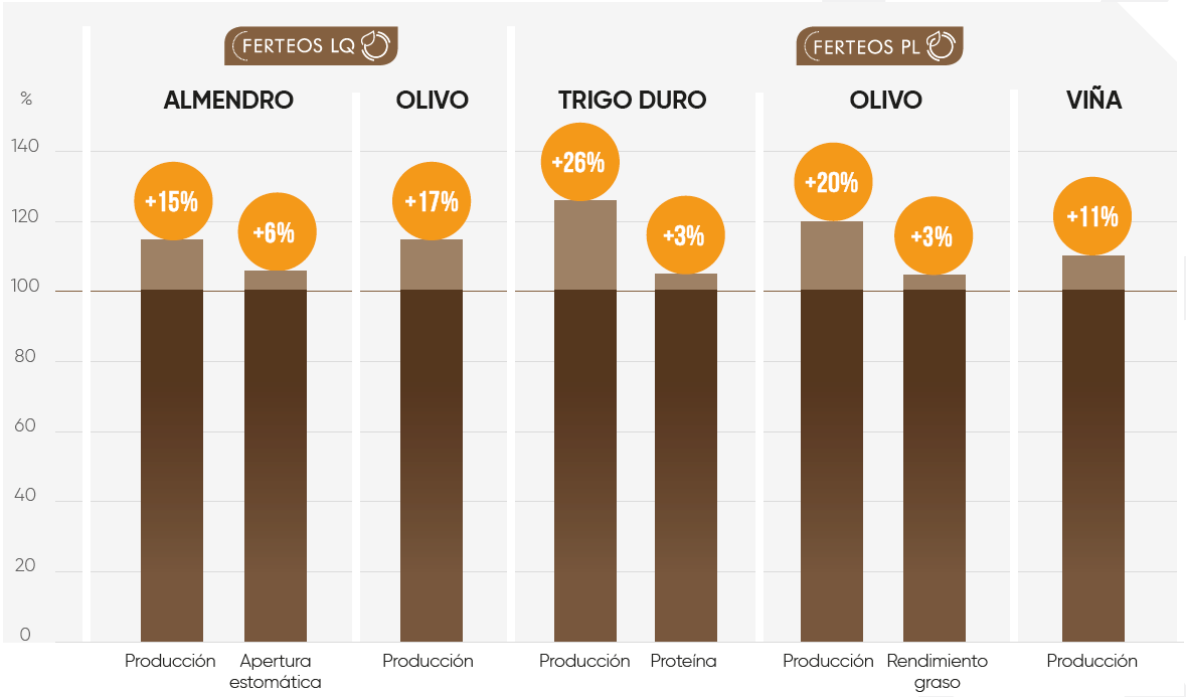


Figura 11. Resumen de los resultados conseguidos con FERTEOS LQ y FERTEOS PL

7. GAMA, DOSIS Y CULTIVOS

FERTEOS es una especificidad muy versátil lo que ha permitido formular 2 gamas diferenciadas a partir de ella:

- FERTEOS PL: Gama de fertilizantes orgánicos y organominerales sólidos y para aplicación en fondo y cobertera temprana.
- FERTEOS LQ: Gama de fertilizantes líquidos y fertilizante prebiótico líquido para fertirrigación.

7.1. FERTEOS PL: Regenerador rizosférico sólido

Esta gama de fertilizantes orgánicos y organominerales está constituida por distintas materias primas de origen animal, sometidas a un proceso de compostaje que elimina patógenos y semillas de malas hierbas y que permite la estabilización de sus componentes. Los productos se comercializan en formato pellet y aunque sus contenidos de humedad son bajos se asegura una degradación del pellet adecuada para maximizar el contacto del producto con el suelo. Gracias a la adecuada relación C/N, el origen y calidad de las materias primas que lo componen y a la acción del Complejo FERTEOS se produce una liberación rápida de los nutrientes.

I FERTEOS PL I

NPK (12 – 1 – 0)
Ca-Mg-S (3-0,3-1,8)
Microelementos
C/N: 4

Por su alta riqueza en nitrógeno, es un producto indicado para favorecer el desarrollo vegetativo de los cultivos. Gracias a la especificidad y a su alto contenido en N, se acelera aún más la mineralización de la materia orgánica intrínseca del suelo, liberando mayor cantidad de nutrientes y disminuyendo la inmovilización del Nitrógeno por parte de los microorganismos. Contiene un alto contenido de carbono lábil (fuente de energía de microorganismos) y elementos secundarios como Calcio, Magnesio, azufre y microelementos.

II

FERTEOS PL II

Indicado para fertilización en fondo, especialmente en suelos de baja fertilidad física y química. La combinación de distintas fuentes de materia orgánica aporta: carbono lábil, carbono metaestabilizado por complejos organometálicos y carbono recalcitrante, que sirven de nicho y aporte de nutrientes a los microorganismos, aumentan el contenido de agua útil, la capacidad de retención e intercambio de nutrientes (CICe) y mejoran la estructura del suelo de forma perdurable. Su excelente relación C/N reduce los procesos de inmovilización microbiana. Incorpora en su formulación una alta población de microorganismos fijadores de nitrógeno, del género Azotobacter, que proliferan en suelo gracias al Complejo FERTEOS, lo que aporta un suministro sostenido de nitrógeno. El fósforo aportado se encuentra protegido mediante la formación de puentes con potasio y calcio, reduciendo su bloqueo tanto en suelos ácidos como alcalinos. Aporta una fuente de hierro activado de recién precipitación, que permite la formación de agregados estables al servir de enlace entre materia orgánica y arcillas y que, además, al ser soluble a los ácidos orgánicos, está disponible para la planta. Contiene una alta fuente de calcio, azufre, magnesio y microelementos.

NPK (3 – 3 – 6)
Ca-Mg-S (11-1,2-5,5)
Microelementos, Fe activado
M.O: 41%
C/N: 9
Azotobacter salinestris

III FERTEOS PL III

Indicado para fertilización en fondo, aporta todos los macroelementos primarios y secundarios, y microelementos esenciales para el correcto desarrollo del cultivo. Gracias a su excelente relación C/N y al Complejo FERTEOS se reducen las pérdidas de nutrientes y en especial del nitrógeno, por inmovilización, volatilización, desnitrificación y lixiviación. Su acción nutricional para el cultivo y la microbiota se complementa con su labor de mejorador de la fertilidad física y química del suelo.

NPK (3 – 3 – 3)
Ca-Mg-S (8-1,4-1,4)
Microelementos
M.O: 51%
C/N: 11

CUADRO COMPARATIVO GAMA SÓLIDOS

CUADRO COMPARATIVO EFECTOS	FERTEOS PL I (12-1-0)	FERTEOS PL II (3-3-6)	FERTEOS PL III (3-3-3)
Activación y multiplicación de la vida microbiana	✓✓	✓✓✓	✓✓
Velocidad de mineralización de la M.O	✓✓✓	✓✓✓	✓✓
Aumento de la Capacidad de Intercambio Catiónico	✓✓	✓✓✓	✓✓✓
Cantidad de nitrógeno atmosférico fijado	✓✓	✓✓✓	✓✓
Formación de microagregados, porosidad, retención de agua (Estructura del suelo)	✓	✓✓✓	✓✓
Aporte de elementos secundarios y microelementos	✓	✓✓✓	✓✓
Poder de enmienda perdurable	✓	✓✓✓	✓✓

7.2. FERTEOS LQ: Regenerador rizosférico liquido

Dentro de los productos líquidos nos encontramos con 6 referencias, las cuales se pueden dividir en 2 tipos de producto:

FERTEOS LQ I, II, III, V y VI:

Soluciones nutricionales ecológicas que combinadas con el Complejo FERTEOS y su carácter REGENERADOR RIZOSFÉRICO aumentan su eficiencia nutricional.

- Potencia el Desarrollo vegetativo.
- Incrementa la población y la actividad microbiana beneficiosa.
- Limita las pérdidas de los nutrientes durante el ciclo del cultivo.
- Favorece la fijación de nitrógeno atmosférico.
- Mayor movilización y absorción de nutrientes.
- Nutrición líquida ecológica para cada estadío.

FERTEOS LQ I	8-0-0
FERTEOS LQ II	5,5-1-3
FERTEOS LQ III	0-0-6 + 5,2S

FERTEOS LQ V	3-1-7
FERTEOS LQ VI	2-4-6

FERTEOS LQ IV:

Formulado prebiótico con materia orgánica seleccionada que potencia a un mayor nivel el efecto REGENERADOR RIZOSFÉRICO del Complejo FERTEOS.

A pesar de su composición 3-0-5, este producto está concebido como un producto prebiótico con un alto contenido en materia orgánica 40% y alta concentración de especificidad para que con pequeñas dosis sea capaz de proporcionar adicionalmente:

- Mejora la estructura, genera agregados estables y aumenta la CIC del suelo.
- Mayor tolerancia al estrés salino.
- Incrementa la población y la actividad microbiana beneficiosa.
- Limita las pérdidas de los nutrientes durante el ciclo del cultivo.
- Favorece la fijación de nitrógeno atmosférico.
- Mayor movilización y absorción de nutrientes.

8. PACKAGING

INNOVABIO
I
FERTEOS PL
25 kg
Timac AGRO
INNOVABIO
II
FERTEOS PL
25 kg
Timac AGRO
INNOVABIO
III
FERTEOS PL
25 kg
Timac AGRO

INNOVABIO
IV
FERTEOS LQ
INNOVABIO
INNOVABIO
INNOVABIO
INNOVABIO

ANEXO I

LA MATERIA ORGÁNICA Y SU MINERALIZACIÓN

Por su nivel de impacto sobre los niveles de CO_2 y su importancia en la cantidad y calidad producida, nos centraremos en describir el rol de la materia orgánica y su proceso de mineralización, la importancia de la diversidad y la actividad microbiológica y el ciclo del nitrógeno, como nutriente clave.

La materia orgánica y su mineralización

La M.O del suelo representa un sistema Complejo, heterogéneo, dinámico que posibilita la integración entre la parte mineral y la parte biológica del suelo, formada por la totalidad de compuestos orgánicos procedentes de restos de plantas y animales, en diferentes estados de transformación, exudados radicales, aportes orgánicos externos (estiércol, compost, purines), y productos xenobióticos, así como los organismos edáficos (biomasa del suelo) y los productos resultantes de su senescencia y metabolismo. (Labrador, 1996)

Entre las funciones como mejorador de la estructura del suelo, termorregulador, y almacén de nutrientes (capacidad de intercambio catiónico), destaca su papel como elemento catalizador de la biocenosis del suelo, es decir, como "alimento" de los organismos vivos del suelo y las plantas.

Las plantas toman la mayoría de los macronutrientes y micronutrientes en sus formas iónicas (aniones y cationes), aunque tolera la absorción de ciertas cantidades de aminoácidos, azúcares y ácidos fúlvicos.

Desde un punto de vista nutricional, la materia orgánica contiene todos los nutrientes esenciales para el correcto desarrollo de plantas, mesofauna y microorganismos, en forma de azúcares simples y Complejos, proteínas, aminoácidos libres, lípidos, fosfolípidos, ácidos nucleicos, etc. Estos componentes orgánicos son transformados a formas solubles (asimilables por las plantas) con mayor o menor velocidad en función de los siguientes parámetros:

Anexo Tabla 1. Factores abióticos y bióticos

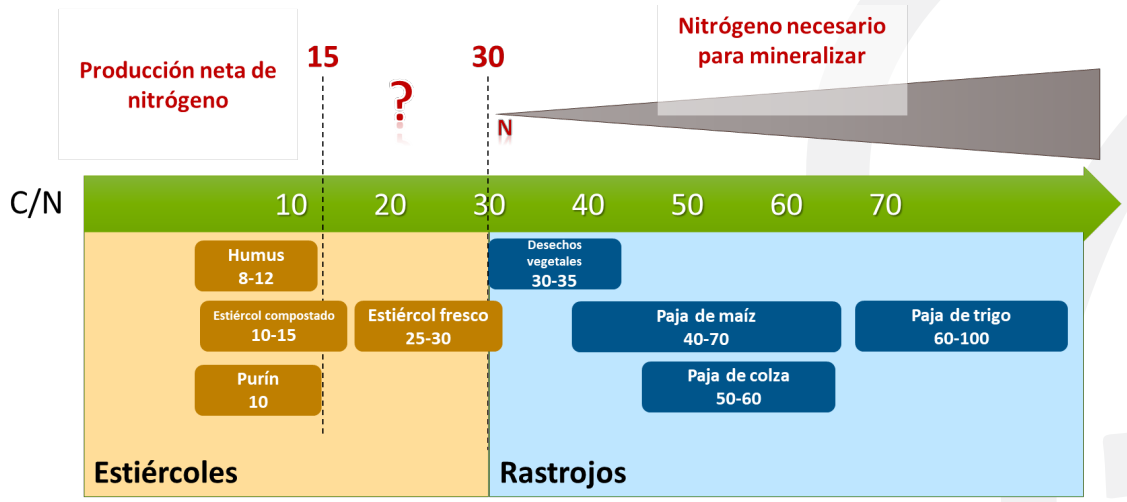
ABIÓTICOS	BIÓTICOS
Textura y Densidad aparente, CIC del suelo	Cantidad, diversidad y actividad de:
Humedad, Temperatura, pH, oxigenación del suelo	Microflora: Bacterias, Hongos, Actinomicetos
Grado de laboreo	Microfauna: protozoos y nemátodos
Contenido de N en la solución del suelo	Mesofauna: ácaros y gusanos
Relación C/N de la M.O	Macrofauna: lombrices, insectos, moluscos, mamíferos
Composición de la M.O	Algas

Dadas unas condiciones adecuadas de Tª, Hª, aireación y pH del suelo, la velocidad de la mineralización primaria (k1) y secundaria (k2) viene determinada en gran medida por la relación C/N y el material que compone la Materia orgánica (elementos solubles, hemicelulosa, celulosa, lignina, fosfolípidos,etc.) y también por la cantidad, diversidad y actividad de microorganismos y macroorganismos.

Relación C/N de la M.O

La relación carbono/nitrógeno es un factor clave en la determinación del comportamiento de la materia orgánica aplicada (estiércol, compost, etc.) como de la intrínsicamente presente en el suelo.

Materias con una relación C/N < 15 liberarán nitrógeno y no inducirán a la inmovilización (secuestro temporal de nitrógeno por los microorganismos). Sustancias con una C/N > 30 necesitan de una cantidad externa de nitrógeno para poder ser mineralizadas, compitiendo con las plantas por las fuentes de nitrógeno presentes en el suelo en formas disponibles.



Anexo Figura 1. Relación C/N de distintas materias de origen orgánico y su capacidad de liberar nitrógeno. Fuente: INRA

Origen y composición de la M.O

Otro factor delimitante de los procesos de mineralización primaria y humificación será la calidad de la fuente de carbono, es decir, los tipos de polímeros y macromoléculas que componen esa materia y el balance entre lignina, celulosa, hemicelulosa y materia orgánica soluble.

Como ejemplo para entender este punto, en un extremo se encuentran los purines o estiércoles fluidos con contenidos de M.O, carbono y materia seca muy bajos, y con una alta concentración de macroelementos y microelementos en formas solubles (70-75% de la composición) que potencialmente están disponibles para el cultivo, pero que, por otro lado, son muy poco eficientes, ya que son altamente susceptibles a sufrir pérdidas por volatilización o lixiviación. El 70-80% de su

composición se mineraliza-solubiliza el primer año, al no presentar apenas estructuras poliméricas su acción como enmienda sobre el suelo será ínfima.

En el extremo opuesto se hallan los rastrojos o pajas de gramíneas, con altos contenidos de M.O, carbono orgánico, y materia seca, pero con un valor como fertilizante muy bajo. El contenido de hemicelulosa, celulosa y lignina representa el 80-90% y el resto de compuestos solubles. Sin embargo, la cantidad de humus (materia orgánica estable) que genere en el suelo será mucho mayor que la originada por los estiércoles fluidos. Cómo se puede observar en la ilustración 1, debido a la composición orgánica de los rastrojos y su alta relación C/N, se produce un secuestro de Nitrógeno de forma temporal (inmovilización por los microorganismos), disminuyendo la cantidad disponible para la planta de este esencial macronutriente.

En una situación intermedia se encuentran los estiércoles de origen animal con relaciones C/N variables según el origen de la materia, su contenido de paja, alimentación, manejo etc. Durante el proceso más que recomendable de compostaje, gracias a la acción de la mesofauna y microorganismos y en condiciones de pH y Tª adecuados, los ratios C/N descienden desde valores de 25-35 a 10-15 favoreciendo la liberación neta de nitrógeno y resto de macronutrientes.

Anexo Tabla 2. Riqueza en nitrógeno sobre materia seca y nitrógeno mineralizado el primer año. Fuente CLM

Tipo	Riqueza (%N/m.s.)	%N. Mineralizado 1º año
Estiércol de bovino	1,2	20-30
Estiércol de oveja (sirle)	2-2,5	40-50
Estiércol de porcino	1,5-2	40-50
Purines de porcino	0,4*	40-70 (otoño-primavera)
Gallinaza	2-5	60-90
Lodos de depuradora	02-jul	30-40
Compost de residuos sólidos urbanos	1-1,8	15-20

En relación al fosforo y potasio presente en materias orgánicas de origen animal, del 80-100% se mineraliza el primer año.

Mineralización secundaria. Nutrientes liberados del humus

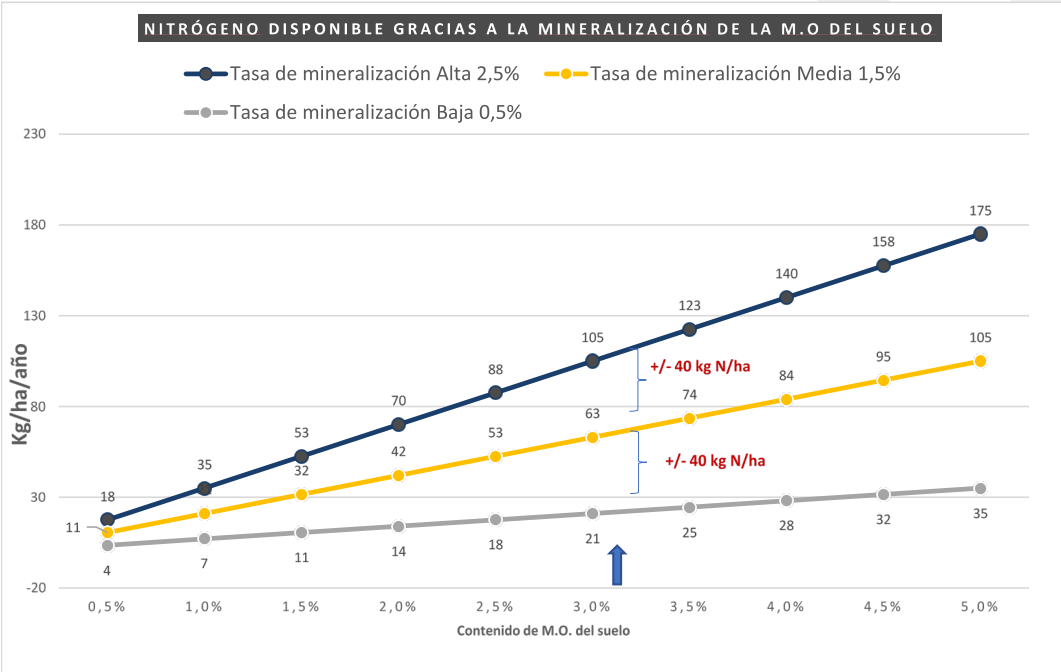
Se considera que aproximadamente el 95% de la materia orgánica presente en un suelo se presenta en forma oxidada-estable-humificada y se estipula que tiene una composición media del 5% de Nitrógeno, 1,2% de P_2O_5, 0,5% de SO_3, 0,5% de K_2O y un ratio C/N próximo a 10. La cantidad de nutrientes liberados en formas disponibles para el cultivo depende directamente de la actividad microbiológica, aireación, Tª, Hª, pH principalmente.

Si realizamos unos sencillos cálculos, descubriremos la importancia de la M.O como reservorio de nutrientes y cómo una adecuada estimulación de la actividad microbiana permite aumentar la tasa de mineralización, convirtiendo las formas orgánicas en nutrientes disponibles para la planta.

Anexo Tabla 3. Cantidad de nutrientes presentes en la Materia Orgánica estable del suelo.

Nutrientes disponibles según tasa de mineralización.

CANTIDAD DE NUTRIENTES MINERALIZADOS PROVENIENTES DE LA MATERIA ORGANICA ESTABLE (K2)								
DATOS SUELO		PARÁMETRO	T suelo/ha	T M.O / ha	UF N	UF P2O5	UF K20	UF SO3
M.O OXID %	3	EN EL HUMUS (NO DISPONIBLE)	2800	84	3990	958	399	399
Profundidad	0,2	MINERALIZACIÓN MUY BAJA 0,2%			8	2	1	1
D.A t/m3	1,4	MINERALIZACION BAJA 0,5%			19	5	2	2
		MINERALIZACION MEDIA 1,5%			60	14	6	6
		MINERALIZACION ALTA 2,5%			100	24	10	10



Anexo Figura 2. Nitrógeno mineralizado según el contenido de M.O del suelo y la tasa de mineralización.

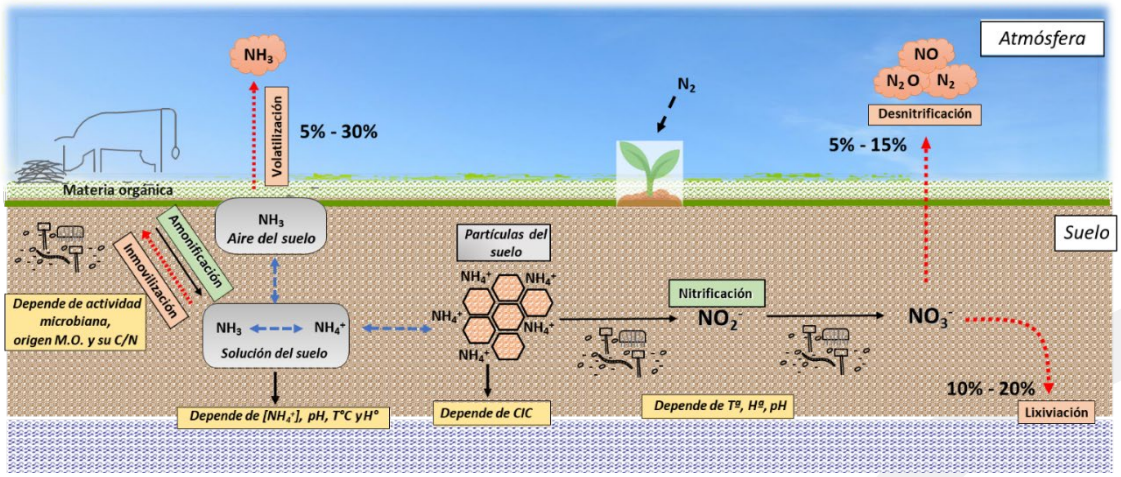
Conclusión:

Podemos concluir que, de forma generalizada, cuando se incorpora materia orgánica fresca al suelo el 60-70% de su masa se transforma en un intervalo de unos pocos meses a 2 años, dando lugar a elementos minerales solubles (P04, SO4, NO3, NH4...) y gaseosos (CO2, NH3).

La otra parte restante, se reorganiza en compuestos más estables, compuestos humificados, que presentan velocidades de mineralización mucho más lentas, 0,5-2,5% anual.

ANEXO II

PÉRDIDAS DE NITRÓGENO DURANTE SU MINERALIZACIÓN



Anexo Figura 3. Perdidas de nitrógeno durante su mineralización

El nitrógeno, durante su mineralización desde formas orgánicas hasta convertirse en amonio (NH_4^+) y nítrico (NO_3^-) está sujeto a diferentes tipos de pérdidas, entre las que se destacan:

- Volatilización. El nitrógeno amoniacal se encuentra en equilibrio en la solución del suelo con el amoniaco. Sin embargo, cuanto mayor sea el pH del suelo y la temperatura y mayor sea la concentración de amonio, mayores pérdidas de nitrógeno habrá en forma de amoniaco a la atmósfera por volatilización. Se consideran unas pérdidas de entre un 5% y un 30% del nitrógeno aportado inicialmente, favoreciendo estas pérdidas los suelos arenosos.

- Lixiviación. Las bacterias nitrosonomas y nitrobacter existentes en el suelo son las responsables de transformar el nitrógeno amoniacal en nitrógeno nítrico en el proceso conocido como nitrificación. Las formas nítricas al ser aniones no quedan retenidas en el Complejo arcillo húmico, siendo susceptibles de ser lavados, perdiéndose en profundidad. Las pérdidas por lixiviación pueden cifrarse entre el 10 y el 20% del nitrógeno de partida aportado, correspondiendo las cifras más altas a suelos arenosos.

- Desnitrificación. Es el proceso que consiste en la reducción de los nitratos del suelo hasta formas de nitrógeno libre (N2) o eventualmente óxido nitroso (N_2O) y óxido nítrico (NO). Este proceso lo realizan bacterias heterótrofas (*Pseudomonas*, *Paraccocus*, *Alcaligenes*, *Thiobacillus*, *Bacillus*), que toman las moléculas de nitratos como aceptores de electrones para su propia respiración, reemplazando al oxígeno. Por ello, las pérdidas de nitrógeno del suelo por desnitrificación son mayores en condiciones de escasez de oxígeno, temperaturas elevadas y pH altos, suponiendo entre un 5% y un 15% del nitrógeno aplicado.