

Mejora en el uso del nitrógeno en cereales con la aplicación de bioestimulantes

Se enmarca dentro las normas de la agricultura regenerativa para una mayor sostenibilidad

Actualmente la agricultura presenta grandes incertidumbres productivas asociadas a la severidad del cambio climático y a la volatilidad de los mercados, por lo que se debe optar por prácticas que no solo mejoren la producción, sino que abaraten los costes y ayuden a los cultivos a resistir los estreses que son cada vez más frecuentes. En esta situación los bioestimulantes pueden ser una alternativa eficaz tanto técnicamente, como económica y ambientalmente.

Los bioestimulantes agrícolas son sustancias o microorganismos que, aplicados a las plantas o al suelo, mejoran el crecimiento, la productividad, la eficiencia en el uso de nutrientes, la tolerancia al estrés abiótico o la calidad del cultivo, sin ser fertilizantes ni pesticidas. Las principales tipologías de bioestimulantes se pueden clasificar en dos grandes grupos (**figura 1**).

Sustancias bioactivas

Estos son compuestos no vivos que promueven procesos fisiológicos o bioquímicos beneficiosos:

- a) Ácidos húmicos y fúlvicos: mejoran la estructura del suelo, la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana.
- b) Extractos de algas (algas marinas): estimulan el crecimiento radicular y la resistencia al estrés.

Francisco Márquez García y Alfonso Moreno Moraga.

Departamento de Ingeniería Rural. GI. AGR 126 Mecanización y Tecnología Rural. ETSIAM. Universidad de Córdoba.

El uso de los bioestimulantes está cada vez más extendido en las explotaciones cerealistas españolas, aportando importantes beneficios a la producción de cereales. Sin embargo, aún quedan muchas incógnitas en su forma de funcionamiento y cómo actúan sobre el suelo o los cultivos.



- c) Aminoácidos y péptidos: mejoran la síntesis de enzimas y el metabolismo vegetal, especialmente en situaciones de estrés.

Microorganismos beneficiosos

Son agentes vivos que interactúan con la planta o el suelo para mejorar su desempeño:

FIG. 1 Principales tipologías de bioestimulantes.



- a) Hongos micorrízicos: aumentan la absorción de fósforo y otros nutrientes.
- b) Bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR): estimulan el crecimiento, fijan nitrógeno, solubilizan fósforo y protegen contra patógenos.
- c) *Trichoderma* spp: mejoran la salud radicular y activan las defensas de la planta.

Bioestimulantes mixtos

Muchos productos comerciales combinan sustancias bioactivas con microorganismos para lograr efectos sinérgicos.

Bioestimulantes y fertilización combinada

Cada vez está más extendido el uso de los bioestimulantes junto a la aplicación de diferentes insumos como los abonos, pues la fertilización es el principal gasto de los productores de cereal y, por tanto, uno de los puntos clave a la hora de optimizar los insumos aplicados al cultivo. Es por ello, por lo que se intenta buscar la optimización del abonado para que la planta asimile la mayor cantidad de nutrientes aportados, a fin de maximizar su desarrollo vegetativo y la producción del cultivo.

La relación de los bioestimulantes con la fertilización no busca únicamente opti-

FIG. 2 Localización de la parcela sometida a estudio.



CUADRO I

DESCRIPCIÓN DE CADA TRATAMIENTO SEGÚN PRODUCTO, DOSIS Y MOMENTO DE APLICACIÓN.

Tesis	Producto	Dosis	Momento
T1	Testigo sin tratar	--	--
T2	¹ Bioestimulante de bacterias + ¹ Bioestimulante a base de aminoácidos	250 g/ha + 2 l/ha	En estado de ahijado
T3	¹ Bioestimulante de bacterias + ¹ Bioestimulante a base de aminoácidos + ² Bioestimulante a base de aminoácidos con Mn y Zn	250 g/ha + 2 l/ha + 2 l/ha	En estado de ahijado ¹ Mezclado con Fungicida ²
T4	¹ Bioestimulante de bacterias + ¹ Bioestimulante a base de aminoácidos + ² Bioestimulante a base de aminoácidos con Mn y Zn + ² Abono líquido nitrogenado con urea formaldehído 28%	250 g/ha + 2 l/ha + 2 l/ha + 10 l/ha	En estado de ahijado ¹ Mezclado con Fungicida ²
T5	¹ Bioestimulante de bacterias + ¹ Bioestimulante a base de aminoácidos + ² Bioestimulante a base de aminoácidos con Mn y Zn + ² Abono líquido nitrogenado con urea formaldehído 28%	250 g/ha + 2 l/ha + 2 l/ha + 10 l/ha	En estado de ahijado ¹ Mezclado con Fungicida ² y reducción de un 30% de abonado

mizar estos recursos desde un punto de vista económico, sino incluso poder llegar a fijar nitrógeno como hacen algunas bacterias u hongos. También busca cómo mejorar el aporte de estos insumos, en su mayoría provienen de síntesis química, para que tengan un menor impacto sobre el medio ambiente. De esta manera se evitan, en cierto modo, posibles efectos adversos que pueden inducirse con una mala gestión de los fertilizantes, como la acidificación del suelo, la emisión de gases de efecto invernadero por volatilización o la contaminación de acuíferos por percolación y lixiviación. Por tanto, mediante este trabajo se persigue estudiar

como el uso de bacterias PGPR puede mejorar la asimilación de los fertilizantes sólidos, a la par que fijar nitrógeno atmosférico, lo que puede ocasionar un menor gasto en fertilizante y por consiguiente una mejora en la Eficiencia en el Uso del Nitrógeno (EUN).

Material y métodos

El estudio se llevó a cabo en una parcela de la Finca Experimental del Rabanales, perteneciente a la Universidad de Córdoba (figura 2). El trabajo se realizó bajo condiciones de agricultura regenerativa en una parcela en la que anteriormente

se encontraba un cultivo de habas que se sembró de trigo blando, en siembra directa con la variedad “Acorazado”, junto a un abono microcomplejo que aporta nutrientes en las primeras fases del desarrollo del cultivo.

La parcela anteriormente descrita tenía una distribución de bloques al azar, con 4 bloques y 5 tratamientos por bloque. Cada tratamiento tenía unas dimensiones de 15 m de ancho y 50 m de largo, lo que se traduce en una superficie sometida a estudio de 1,5 ha. En el **cuadro I**, se encuentran los distintos tratamientos estudiados, donde se reflejan tanto los componentes como las dosis y el momento de aplicación de cada uno de los tratamientos. El tratamiento 1 se toma como el testigo, en el que se realizó una fertilización que se consideraba adecuada para el cultivo. Y en los tratamientos del 2 al 5 se utilizaron distintas combinaciones de bacterias de suelo PGPR y bioestimulantes.

Para poder comprender mejor cuál ha sido el seguimiento realizado a la parcela, se muestra en el **cuadro II** un ejemplo del calendario de operaciones llevado a cabo en una de las campañas de estudio. Se ha de reseñar que en los tratamientos del 1 al 4 se aplicaron 150 UFN para una producción esperada de trigo blando de 5.000 kg/ha, y en el tratamiento 5 se redujeron esas unidades en un 30%, 105 UFN. El fertilizante sólido como se muestra en la **figura 2**, se aplicó en dos coberteras, la primera con un nitrosulfato amónico al 33% de N y la segunda con una urea inhibida de liberación lenta al 50% de N.

Las bacterias PGPR se aplicaron con el cereal en un estado de 4 a 6 hojas verdaderas. La primera aplicación de bioestimulante foliar se llevó a cabo en ahijado del trigo en combinación con un herbicida y la segunda aplicación fue mezclado con el fungicida en hoja bandera desplegada. Para realizar la aplicación de las bacterias bioestimulantes de la forma más eficiente posible, junto a los tratamientos herbicidas

CUADRO II

CALENDARIO DE OPERACIONES REALIZADOS EN LA FINCA DEL ENSAYO.

Operación	Fecha	Producto	Dosis
Herbicida	15-11-2023	Glifosato 33% + Piraflufen etil 2,65%	3 l/ha + 350cc/ha
Siembra + Abonado	17-11-2023	Acorazado + Umotart	240 kg/ha + 40 kg/ha
Herbicida	20-11-2023	Glifosato 33% + Diflufenican 50% + Pendimetalina 36,5%	1 l/ha + 125 cc/ha + 2,5 l/ha
Abonado	24-01-2024	Nitrocom 33	200 kg/ha
Herbicida + Bioestimulante	31-01-2024	MCPA 23,3% + Pinoxaden 6,2% + Bioestimulante 1ª aplicación	2 l/ha + 1 l/ha
Abonado	14-03-2024	Enebe 40	200 kg/ha
Fungicida + Bioestimulante	21-03-2024	Xemium 7,5% + 2ª aplicación	1,5 l/ha
Cosecha	20-06-2024	-	-



Foto 1. Aplicación de tratamiento fitosanitario junto a bioestimulante sobre el cultivo

o fungicidas, se empleó maquinaria de dosificación variable apoyada mediante seguimiento GPS, para poder controlar el momento de apertura y cierre de boquillas mientras se trata en la parcela, dependiendo del tratamiento que se esté aplicando (**foto 1**).

Para el muestreo del material vegetal se utilizó un marco cuadrado de 0,5 m de lado (**foto 2**). El marco era colocado al azar en el tratamiento, bajado hasta el suelo y segando, por medio de una hoz, se extrajo una muestra de material vegetal del interior del perímetro del mismo.

Posteriormente se introducía la muestra recogida en una bolsa que era identificada previamente con el bloque en el que

se encontraba, el tratamiento al que pertenecía y el punto exacto de muestreo, ya que por tratamiento se realizaban tres repeticiones. Todas las muestras recabadas se llevaron al laboratorio para su posterior análisis de manera individualizada. Cuando la muestra era recibida en el laboratorio lo primero que se hacía era pesar cada muestra, posteriormente se separaba la espiga de la paja, pesando ambas partes y se contaba el número de espigas viables, el número de espigas separadas. Finalmente se pesaba el grano obtenido tras ser desgranado. El grano obtenido se llevaba a un laboratorio para realizar diferentes análisis en cuanto a parámetros de calidad se refiere, analizando la con-

centración de proteína que se utilizó posteriormente para los análisis de cantidad de nitrógeno en grano. Para la cantidad de nitrógeno en paja se estimó un promedio del 0,5% de nitrógeno en paja.

Resultados

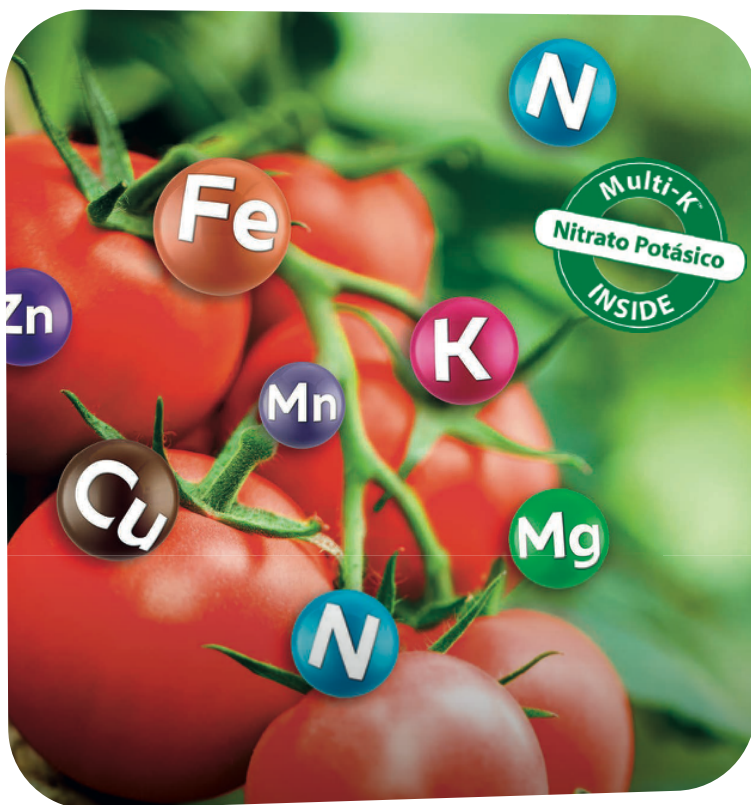
En la **figura 3** se muestra la evolución de las temperaturas medias y las precipitaciones durante el periodo del ensayo, campaña agrícola 2023-24. Los datos fueron obtenidos de una estación meteorológica ubicada en la misma finca (www.uco.es/grupos/meteo). En cuanto a las precipitaciones, el año fue bastante bueno con unas precipitaciones totales de 726 mm. Principalmente se observó un invierno con una distribución creciente en cuanto a precipitaciones desde diciembre (38 mm) hasta la entrada de la primavera, des-



Foto 2. Colocación del marco para extraer la muestra de material vegetal.

tacando marzo como el mes con mayor acumulación de lluvia (197 mm). Durante la transición a la primavera, se registraron 91 mm de precipitaciones, seguidos de un mayo con precipitaciones moderadas, al

igual que en junio. En cuanto a las temperaturas, el mes de diciembre registró la media más baja, con 9°C. A partir de ahí, las temperaturas fueron aumentando gradualmente, alcanzando una media



Poly-Feed™ GG

Nutrigación™ | Nutrición Foliar

Fertilizantes NPK Solubles
para la completa nutrición de las plantas



Amplia gama
de fórmulas



Completamente
soluble en agua

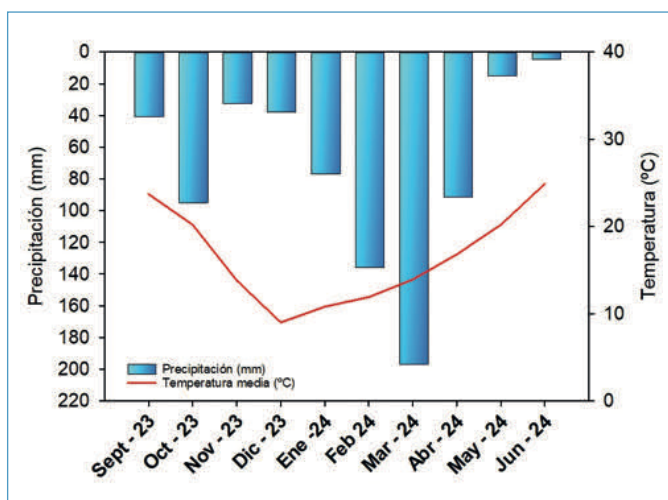
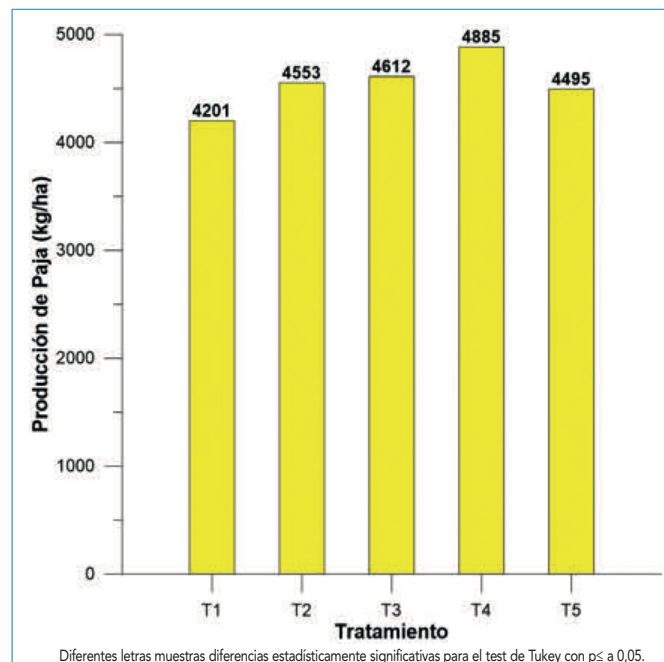
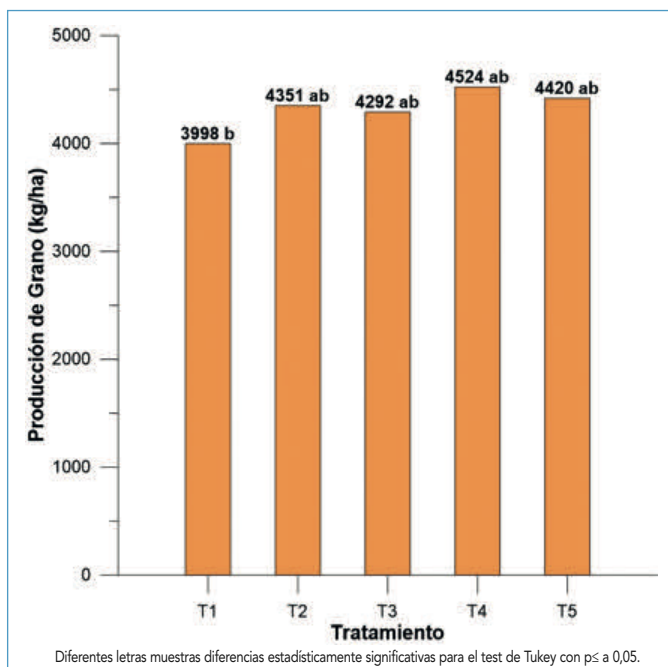
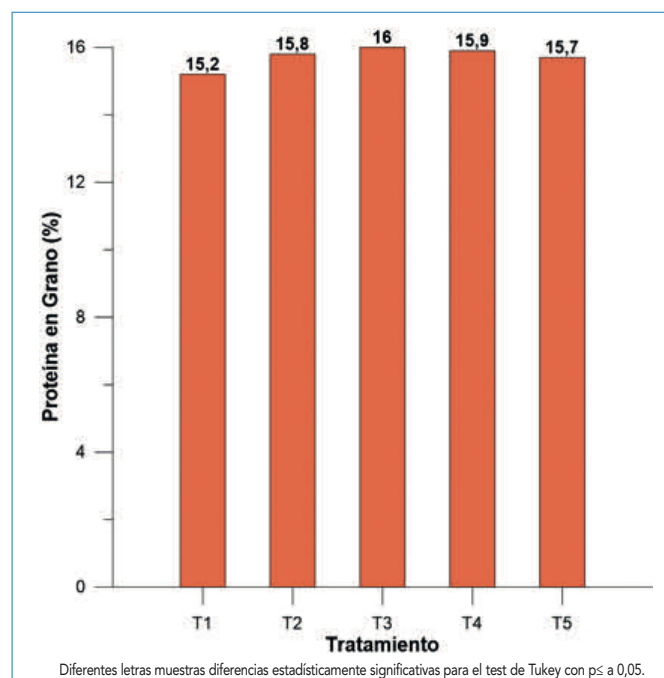


Libre
de cloruro



100% de nutrientes
puros para las plantas



FIG. 3 Diagrama de temperaturas y precipitaciones en año agrícola.**FIG. 4** Rendimiento de paja en kg/ha.**FIG. 5** Peso del grano expresado en kg/ha.**FIG. 6** Concentración de proteína en grano (%).

de 14°C en marzo. Durante la primavera, las temperaturas medias oscilaron entre los 14°C y los 20°C, y a partir de mayo, se produjo un aumento considerable. En esta campaña, tanto la distribución de las precipitaciones como las temperaturas se mantuvieron dentro de un rango modera-

do y acorde con la estación del año.

La **figura 4** muestra los resultados obtenidos en cuanto a la paja producida.

El tratamiento con la aplicación de bacterias de suelo y bioestimulante a base de aminoácidos, aplicado junto con el



herbicida de post-emergencia, y bioestimulante a base de aminoácidos con Mn y Zn aplicado con el tratamiento fúngico y urea formaldehído al 28% (T4) fue el que más produjo, siendo el tratamiento testigo (T1) el que menos paja obtuvo. Se ha de reseñar que el tratamiento T5 con un 30% menos de abono que el T4, fue el que menos produjo de todos los que utilizaron bioestimulantes, pero sin diferencias estadísticamente significativas.

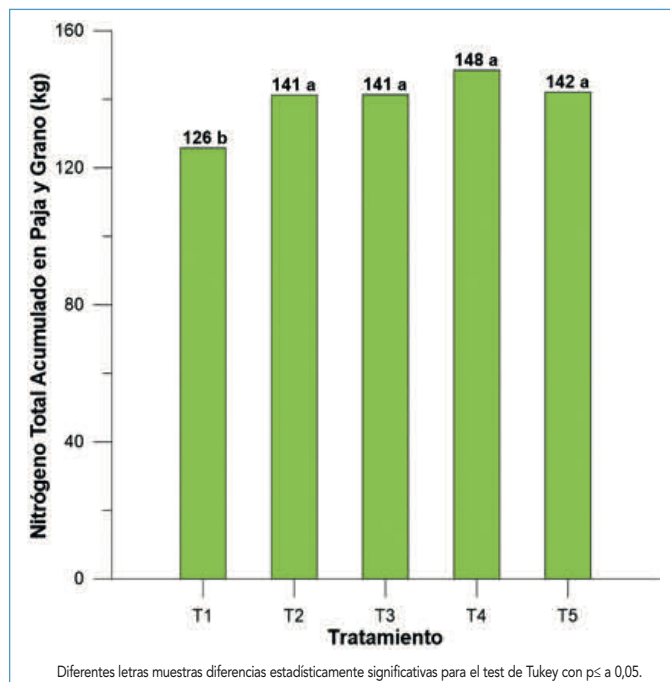
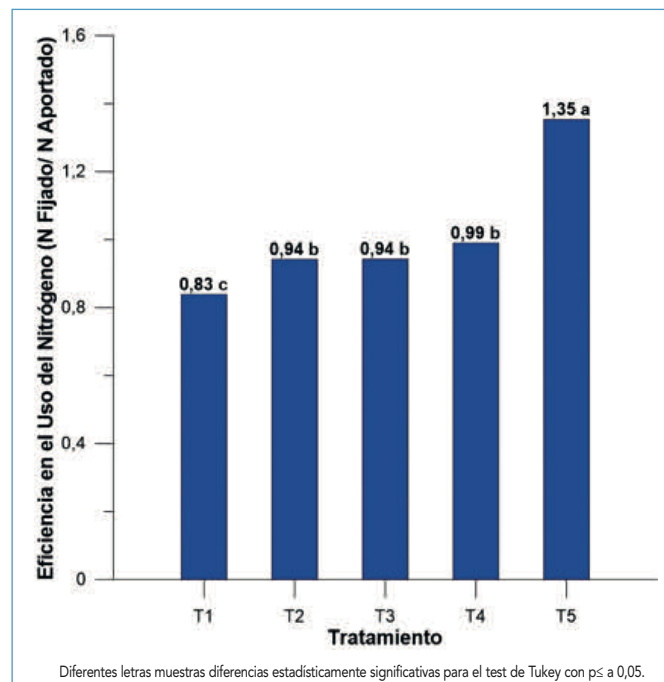
La cosecha de grano (**figura 5**) muestra cómo estadísticamente todas las combinaciones de bioestimulantes produjeron igual, e igual que el testigo (T1), aunque fue el valor estadísticamente más bajo. De nuevo el tratamiento 4 (aplicación de bacterias y bioestimulante a base de aminoácidos + bioestimulante a base de aminoácidos con Mn y Zn junto a un fertilizante nitrogenado líquido de urea formaldehído)



El tratamiento con la aplicación de bacterias de suelo y bioestimulante a base de aminoácidos, aplicado junto con el herbicida de post-emergencia, y bioestimulante a base de aminoácidos con Mn y Zn aplicado con el tratamiento fúngico y urea formaldehído al 28% fue el que más produjo (tratamiento testigo)

fue el que más grano produjo, seguido en este caso del tratamiento 5, que era la misma combinación, pero con un 30% menos de fertilizante sólido, con una diferencia de unos 100 kg/ha de grano. T2 (bioestimulante a base bacterias + bioestimulante a base de aminoácidos) distó menos de 100 kg/ha respecto a T5. Seguidamente T3 (bioestimulante a base bacterias + bioestimulante a base de aminoácidos y bioestimulante a base de aminoácidos con Mn y Zn) y, por último, el tratamiento testigo (T1), con más de 500 kg/ha de diferencia con el tratamiento que mayor cantidad de grano produjo (T4).

En cuanto a la cantidad de proteína obtenida en grano en cada uno de los tratamientos (**figura 6**), se aprecia cómo no hubo diferencias estadísticamente significativas, aunque en todos los casos los tratamientos con aplicaciones de distintas

FIG. 7 Nitrógeno total acumulado en la Paja y el Grano expresado en kg/ha.**FIG. 8** Eficiencia en el uso del nitrógeno en cada uno de los tratamientos estudiados.

combinaciones de bioestimulantes obtuvieron un mayor contenido de proteína que el testigo T1, incluso el tratamiento T5 con un 30% menos de fertilizante.

Atendiendo al nitrógeno total acumulado tanto en la paja como en el grano, expresado en kg/ha (**figura 7**), se observa cómo el tratamiento testigo sin bioestimulantes fue el que menos nitrógeno acumuló (126 UFN) y con diferencias estadísticamente significativas con respecto al resto de tratamientos con distintas combinaciones. Los tratamientos con bioestimulantes del 2 al 4 fijaron valores de nitrógeno muy parecidos a los aportados por el fertilizante, unas 140 UFN respecto a las 150 UFN aportadas. Seguramente esta eficiencia se debió a la aplicación de bacterias PGPR que entran en simbiosis con la raíz y fijan nitrógeno. Este hecho se vio aún más claro en el tratamiento T5 en el que se aplicaron solo 105 UFN al cultivo, y gracias a las bacterias el trigo blando optimizó la asimilación de nutrientes y consiguió fijar 142 UFN, muy superior al N aportado.

Estos hechos ocasionaron tal y como se muestra en la **figura 8**, que la Eficiencia en el Uso del Nitrógeno (EUN) se incrementara con el uso de los bioestimulantes. Este indicador nos muestra el grado de eficiencia que tiene el cultivo a la hora de asimilar el fertilizante aplicado y es la cantidad de nitrógeno almacenada en el grano y la paja dividido por la cantidad de nitrógeno aportada mediante la fertilización. Se aprecia cómo, en todos los casos, el cultivo fue muy eficiente capturando el nitrógeno aportado. El tratamiento 1, que estadísticamente fue el que menores valores obtuvo, consiguió almacenar en el grano y la paja el 83% del nitrógeno aportado. Los tratamientos del 2 al 4 estadísticamente asimilaron más nitrógeno que el 1, mejorando la EUN, pero con valores aún menores a 1. Sin embargo, el tratamiento 5 obtuvo una EUN superior a 1 (1,35) lo que muestra que consiguió fijar más nitrógeno del que se le aportó, gracias a la reducción de fertilizante y la fijación de nitrógeno por las bacterias.

Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran cómo el uso de bioestimulantes ayuda a mejorar la EUN de los cultivos con respecto a cereales bien fertilizados, y cómo a mayor cantidad de bioestimulantes aplicados, más aumenta la EUN, ya que se incrementan las producciones. Además, esta EUN puede ser incluso mayor a 1 (T5) pues, la utilización de bacterias fijadoras de nitrógeno, no solo hace que se fije este macronutriente reduciendo la fertilización, sino que también mantiene las producciones, lo que origina una agricultura realmente eficiente en el uso de nitrógeno. ■

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Unión Europea dentro del programa LIFE, instrumento financiero para el medio ambiente, por la cofinanciación en el proyecto LIFE Innocereal EU 'Connecting the cereal value chain and creating sustainable certification for carbon neutral production in Europe' (LIFE21-CCM-ES-101074009), y a la Cátedra Sipcam de bioestimulación de cultivos para la promoción de una agricultura rentable y sostenible, por su colaboración en este estudio. Así como al proyecto para la Aplicación de Gemelos Digitales a Explotaciones agrícolas de Regadío más sostenibles (GEDIER) concedido por el Ministerio para la Transición Ecológica y reto Demográfico y la Agencia Estatal de Investigación (TED2021-130167B-C31).



El insecticida de origen natural para la agricultura ecológica

AUTORIZADO SU USO EN 70 CULTIVOS INCLUIDOS LOS USOS MENORES.

Spintor[®] 480SC

Qalcova[™] active

INSECTICIDA

Certificado para ECOLÓGICO

- Control efectivo de todo tipo de TRIPS, incluidos los nuevos Trips
- Control eficaz contra todo tipo de ORUGAS
- Modo de Acción Único frente a TRIPS y ORUGAS, clasificado en IRAC Grupo 5
- Corto Plazo de seguridad
- Calidad y Composición Garantizadas
- Compatible con Control Biológico y Producción Integrada