

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UNA ENMIENDA BIOLÓGICA LÍQUIDA APLICADA CON DRON SOBRE EL CULTIVO DE TRIGO (CAMPAÑA 2025)

ESPERANZA, DEPARTAMENTO LAS COLONIAS (SANTA FE)

MARTINS, L.^{1*}; KERN, E.¹; CANESINI, M.¹; INVINKELRIED, H.²; AIMARETTI, J.³; FUSARI, P.⁴

¹INTA AER Esperanza. ²FCA-UNL. ³FFO SA. ⁴ARÁN TECNOLOGÍAS.
*Autor de contacto: martins.luciano@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

En el plano agronómico y ambiental, el trigo cumple una función clave dentro de los sistemas de rotación. Su incorporación favorece la cobertura del suelo durante el invierno, reduce los riesgos de erosión, mejora la estructura edáfica y contribuye al manejo de malezas y enfermedades, promoviendo una mayor eficiencia en el uso de los recursos y sistemas agrícolas más sustentables (Satorre *et al.*, 2003).

Por otro lado, los fertilizantes orgánicos -también denominados abonos orgánicos- y los biológicos constituyen una alternativa complementaria a los fertilizantes químicos, pudiendo reemplazarlos parcialmente. Los fertilizantes orgánicos pueden ser de origen animal, vegetal o mineral y presentarse de forma sólida o líquida y aplicarse de manera directa al suelo o de manera foliar. Por su parte, los biológicos contienen microorganismos vivos que favorecen el crecimiento de las plantas y pueden aplicarse en presembrado, durante la siembra o en postemergencia temprana de los cultivos.

La utilización de los residuos orgánicos, además de aportar nutrientes, posee un importante valor como enmienda, ya que contribuye a mantener o mejorar la cantidad y calidad de la materia orgánica del suelo y, en consecuencia, de propiedades asociadas como la estructura, la capacidad de intercambio catiónico, la actividad biológica, la disponibilidad de agua y el control de la erosión, entre otras (Mazzarino, 2014). Asimismo, su utilización favorece el reciclaje, evitando contaminación de aguas y suelos por lixiviación puntual y reduciendo la producción de gases efecto invernadero, principalmente metano (Schulz y Romheld, 1997).

Las enmiendas biológicas, particularmente aquellas basadas en microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPR), han adquirido una creciente relevancia en los sistemas de producción de cultivos extensivos como el trigo, debido a su capacidad para mejorar la fertilidad del suelo y la eficiencia en el uso de los recursos. Diversos estudios han demostrado que estos microorganismos pueden estimular el crecimiento vegetal mediante múltiples mecanismos, entre los que se incluyen la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fósforo, la producción de fitohormonas y la mejora de la absorción de nutrientes por las plantas (Lucy *et al.*, 2004; Vessey, 2003; Adesemoye *et al.*, 2009; Bhattacharyya y Jha, 2012). Asimismo, la incorporación de biofertilizantes

puede incrementar la actividad microbiana del suelo, mejorar la tolerancia de los cultivos frente a estreses abióticos y bióticos, y contribuir a reducir la dependencia de fertilizantes químicos, favoreciendo sistemas agrícolas más sustentables. En este sentido, su integración dentro del manejo agronómico de cultivos extensivos representa una estrategia prometedora para aumentar la productividad y la resiliencia de los sistemas agrícolas (Lucy *et al.*, 2004; Vessey, 2003; Adesemoye *et al.*, 2009; Bhattacharyya y Jha, 2012).

La enmienda biológica líquida de la empresa FFO S.A, aporta micronutrientes y elementos biológicos benéficos para las plantas. Es un bioestimulante foliar del desarrollo y de la sanidad vegetal aprobada como insumo para producciones orgánicas, agroecológicas y periurbanas (Tabla 1).

Tabla 1. Composición química y biológica de la enmienda líquida FFO. Fuente: Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas - UNL, año 2008.

Micronutrientes presentes	mg/litro	Microorganismos presentes
Manganeso	0,090	<i>Bacillus thuringiensis</i> , <i>Bacillus subtilis</i> y <i>Bacillus pumilus</i>
Cobre	< 0,060	
Hierro	1,400	
Zinc	0,045	
Níquel	< 0,030	

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento agronómico de un cultivar de trigo en respuesta a la aplicación, mediante un dron, de la enmienda biológica líquida FFO.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo durante la campaña 2025 en Esperanza, Santa Fe, en un lote experimental correspondiente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNL. El suelo del sitio corresponde a un Argiudol típico, serie Recreo, clasificado como clase de aptitud 3wp(es) con índice de aptitud de 46 (INTA Digital GEO).

La siembra se realizó el 11 de junio de 2025 utilizando el cultivar ACA 502. En el período previo al estado Z2 (macollaje) (Zadoks *et al.*, 1974), se realizó el conteo de plantas registrándose un promedio de 215 plantas/m². Para la región, las densidades recomendadas oscilan entre 250 y 350 plantas/m² en siembras efectuadas entre mayo y julio, respectivamente (Rosetti, 2023).

Se realizó una fertilización al voleo con 150 kg de urea/ha en el estado Z2.1 (Zadoks *et al.*, 1974). Asimismo, se aplicó 500 cc/ha de fungicida (suspensión concentrada de 20 g azoxistrobina + 8 g cyproconazole), en Z7.2 (estado lechoso del grano), (Zadoks *et al.*, 1974).

El ensayo se estableció sobre una parcela de 40 m × 80 m (0,32 ha), sobre la cual se aplicó una dosis de 5 l/ha de FFO el 12 de agosto de 2025, en el estadio Z2. La aplicación foliar se realizó mediante un dron (DJI Agras T50), durante horas de la tarde (16 hs) (Figura 1).



Figura 1. Fotos del equipo de trabajo y del dron utilizado.

Las condiciones ambientales registradas al momento de la aplicación fueron: temperatura de 24 °C, viento NE de 7 km/h, humedad relativa de 25 %. Estas condiciones no resultaron óptimas y podrían haber afectado la eficacia de los microorganismos presentes en la enmienda biológica. Asimismo, se delimitó un área testigo de la misma superficie al área tratada, sin aplicación de producto.

Las variables evaluadas fueron: contenido relativo de clorofila (SPAD), cobertura de canopeo (Canopy Cover % (Akpure, 2024)), altura de plantas (cm), porcentaje de proteína en granos (%) y rendimiento a cosecha (qq/ha).

El medidor de clorofila SPAD determina la cantidad relativa de clorofila en las hojas mediante la medición de la absorbancia de la luz en dos longitudes de onda: rojo (aprox. 650 nm) e infrarrojo cercano (aprox. 940 nm). Al cerrar el cabezal sobre la hoja, el dispositivo calcula un valor numérico proporcional al nivel de nitrógeno y salud nutricional de la planta, permitiendo una gestión rápida, no destructiva y eficiente de la fertilización (YALITECH, 2026). La cobertura del canopeo es la proporción del suelo cubierta por la proyección vertical de las copas de los árboles, arbustos o vegetación, generalmente expresada en porcentaje. Tanto las mediciones con SPAD (30 mediciones por tratamiento) como las de cobertura del canopeo (10 mediciones por tratamiento) se realizaron el 11 de septiembre en Z3 (Zadoks *et al.*, 1974). La altura de planta se midió al momento de la cosecha en 20 plantas por tratamiento.

La cosecha se realizó mediante el corte manual de espigas en cuatro muestras de 1 m², tanto en el sector tratado como en la zona testigo. Posteriormente, los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente mediante el Test DGC ($\alpha=0,05$) (Di Rienzo, J.A., *et al.*, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las precipitaciones acumuladas durante el ciclo del cultivo, comprendido entre junio a noviembre, alcanzaron los 647 mm, valor que se ubicó un 19 % por encima de la media histórica. La temperatura media fue similar a los registros históricos; sin embargo, el mes de junio se caracterizó por ser levemente más frío que lo normal (Figura 2).

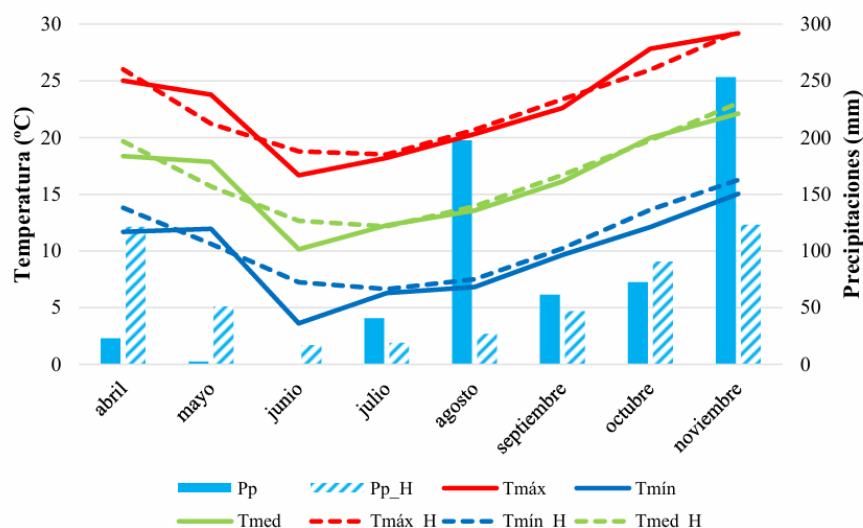


Figura 2. Precipitaciones registradas en Esperanza entre los meses de abril y noviembre de 2025. Referencias: temperaturas máximas (Tmáx), medias (Tmed), mínimas (Tmín) y precipitaciones (Pp) desde abril a noviembre (línea y/o barra llena= campaña 2025, línea y/o barra discontinua= datos históricos). Fuente: Cátedra de Agrometeorología, FCA-UNL, 2025.

Tanto en la variable SPAD (44,4 (FFO) vs 41,55 (parcela testigo)), como en la de cobertura de canopeo (90,1 % (FFO) vs 87,3 % (testigo)), los valores registrados fueron superiores para la parcela tratada.

Asimismo, la mayor altura de plantas (+3,45 cm) evidencia un efecto positivo, con diferencias estadísticamente significativas (p valor 0,0015), sobre el crecimiento vegetativo (68,4 cm (FFO) vs 65 cm (testigo)).

La cosecha se realizó el 27 de noviembre y mostró rendimientos sin diferencias significativas ($p=0,2572$). La parcela tratada con FFO alcanzó un rendimiento de 42,9 qq/ha, mientras que el sector testigo registró 40,5 qq/ha. La diferencia observada fue de 2,4 qq/ha, equivalente a un incremento del 5,9 % a favor del tratamiento con FFO.

Asimismo, se analizaron las muestras de grano, provenientes tanto del área tratada como del sector testigo, determinándose un mayor porcentaje de proteína en los granos correspondiente al área tratada con la enmienda FFO (Tabla 2).

Tabla 2. Porcentaje de materia seca y proteína bruta en grano (% PB) (en base 14 % de humedad), con la enmienda líquida FFO y del testigo. Fuente: Laboratorio de Forrajes EEA INTA Rafaela.

Tratamiento	MS %	PB %
Enmienda líquida FFO	88,89	9,6
Testigo	89,99	6,94

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones ambientales registradas durante la campaña, el cultivo transitó su ciclo con disponibilidad hídrica adecuada para cubrir sus requerimientos. Los resultados obtenidos evidenciaron una tendencia consistente entre variables fisiológicas evaluadas tempranamente y rendimiento final, ambas con respuesta favorable al tratamiento con FFO.

La aplicación foliar de FFO en macollaje mejoró parámetros fisiológicos y estructurales del trigo, determinados mediante SPAD, cobertura de canopeo y altura de plantas. El rendimiento aumentó 2,4 qq/ha (+5,9 %), aunque sin diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento testigo. Asimismo, el porcentaje de proteína bruta de los granos del tratamiento tratado fue 2,66 % superior al de los granos del tratamiento no tratado, aspecto relevante en escenarios de altos rendimientos, donde el contenido proteico tiende a diluirse.

Si bien las condiciones meteorológicas registradas durante la aplicación del FFO no fueron las óptimas para la actividad de los microorganismos presentes en la enmienda, el tratamiento evidenció un efecto fisiológico consistente, que podría contribuir a mejorar la eficiencia productiva del cultivo bajo condiciones similares.

BIBLIOGRAFÍA

Adesemoye, A. O., Torbert, H. A., & Kloepper, J. W. (2009). Plant growth-promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. *Microbial Ecology*, 58, 921–929. *Apkpure*, 2024. Disponible: https://apkpure.com/canopy-cover/com.heaslon.canopycover?utm_source=chatgpt.com

Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 1327–1350.

Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M. & Robledo, C.W. 2020. InfoStat versión 2020. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL. <http://www.infostat.com.ar>.

INTA Digital GEO. Mapas de suelos de Santa Fe. URL: <https://visor.inta.gob.ar/es#3/-41.3/-64.58>

Lucy, M., Reed, E., & Glick, B. R. 2004. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*, 86, 1–25.

- Mazzarino, M.J. 2014. Fuentes alternativas de nutrientes. Pp 827-838. En H. E. Echeverría y F. O. García (eds.). Fertilidad de suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Rosetti, L. 2023. Aspectos claves y estrategias para la planificación de la siembra de trigo. Campaña 2023/2024. INTA – Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Información técnica producción vegetal 2023. Publicación Miscelánea - Año 11. N° 6.
- Satorre, E. H.; Benech Arnold, R. L.; Slafer, G. A.; de la Fuente, E. B.; Miralles, D. J.; Otegui, M. E.; Savin, R. (2003). Producción de granos: bases funcionales para su manejo. Buenos Aires: Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (FAUBA). 783 p. ISBN 950-29-0713-2.
- Schulz, R.; Romheld, V. 1997. Recycling of municipal and industrial organic wastes in agriculture: benefits, limitations, and means of improvement. Soil Sci. Plant Nutr. 43:1051-1056.
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil, 255, 571–586.
- Yalitech. 2026. Disponible: <https://yalitech.cl/aplicaciones/alrt-206-medidor-de-clorofila-spad-502-plus-konica-minolta.html#:~:text=de%20mayor%20calidad.-,El%20SPAD%2D502Plus%20determina%20la%20cantidad%20relativa%20de%20clorofila%20presente,clorofila%20presente%20en%20la%20hoja.&text=de%20las%20plantas-,La%20clorofila%20presente%20en%20las%20hojas%20de%20las%20plantas%20est%C3%A1,indica%20una%20planta%20m%C3%A1s%20saludable.>
- Zadoks, J.; Chang, T. & Konzak, C. 1974. A decimal code for the growth stage of cereals. Weed Res. 14: 415-421.