

Evaluación de producto bioestimulante foliar Megafol en trigo

Proyecto Syngenta – América Agroinnova

Campaña 2025-2026

Informe de resultados

Introducción

Se llevó a cabo un ensayo en el Campo Experimental de América Agroinnova (América, Buenos Aires) durante la campaña 2025-2026, en colaboración con la empresa Syngenta, con el objetivo de evaluar el efecto de un producto bioestimulante foliar (“Megafol”) sobre el desempeño del cultivo de trigo. El análisis se orientó a cuantificar cambios en la captura de recursos y en variables ecofisiológicas asociadas a la generación de la productividad en grano del cultivo, así como su expresión final en el rendimiento y sus componentes. Un objetivo adicional fue educar a estudiantes de grado residentes en Agroinnova en la manera de llevar a cabo un experimento a campo en una colaboración entre investigadores de universidades, productores agropecuarios y representantes de empresas desarrolladoras de insumos para el agro.

Materiales y Métodos

- Descripción general:

El ensayo se condujo en seco y se sembró en un lote franco arenoso, en posición de loma, con 68% de arena y 1,66% de materia orgánica en el horizonte superficial. La fecha de siembra fue el 3 de junio de 2025, realizada con una sembradora de grano fino con surcos distanciados a 17,5 cm. Cada parcela tuvo un ancho de 6 surcos con 7 metros de largo. Todos los tratamientos se sembraron con la variedad DM Catalpa con la misma densidad. Al momento de la siembra, el suelo presentaba 65 kg/ha de N en forma de nitratos y 18 ppm de fósforo extractable Bray 1. Ajustándose a la práctica típica en la zona para ambientes similares a aquel en el que se llevó a cabo el proyecto, todo el ensayo se fertilizó a la siembra con 100 kg/ha de MAP (N11 – P52 - K0) y durante la etapa de aparición de hojas (4 de julio) se aplicó una dosis de 200 kg/ha de urea al voleo. Se aplicó el fungicida Amistar Top a razón de 500 cc/ha el 11 de septiembre (estado Zadoks 3.1) con el fin de promover una fitotoxicidad muy leve al cultivo que permita evaluar el efecto de los tratamientos como antiestresantes y fitoestimulantes, al tiempo de proteger al cultivo de enfermedades foliares (mancha amarilla) que habían superado los umbrales de control. También se aplicó el fungicida Orquesta Ultra a razón de 1200 cc/ha el 1 de octubre (estado Zadoks 4.5) para mantener al cultivo protegido de enfermedades biotróficas durante todo el período desde inmediatamente previo a la espigazón hasta pleno llenado de los granos.

- Tratamientos y diseño experimental:

El diseño experimental se acordó luego de intercambios entre el equipo directivo de América Agroinnova, el Dr. Martín Díaz-Zorita (UNLPam) y el equipo regional de Syngenta. El ensayo consistió en la evaluación de dos tratamientos (Megafol y Testigo) que se manejaron de manera idéntica en todos los aspectos con la excepción de la aplicación de Megafol a razón de 2 l/ha el 15 de septiembre (estado Zadoks Z3.2). El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con los tratamientos aleatorizados dentro de cada bloque y un total de cuatro repeticiones por tratamiento (bloques). En la Tabla 1 se detallan los tratamientos realizados.

Tabla 1. Tratamientos evaluados incluyendo productos, dosis y estadios fenológicos de aplicación (estados Z según escala de Zadoks).

Tratamiento	Aplicación de fitoestimulantes
Megafol	Megafol 2 l/ha Z3.2
Testigo	-

- Mediciones y estimaciones:

Se registró la fenología en visitas semanales desde la emergencia del cultivo. A partir del estado de pleno macollaje (mediados de agosto) y hasta el fin del llenado de los granos, se estimó cada diez días la interceptación de radiación de cada parcela utilizando un GreenSeeker que integra en el área del cultivo el valor de índice verde normalizado (NDVI). Los valores de NDVI obtenidos se transformaron a la fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo (fPAR) mediante la ecuación propuesta por Pellegrini et al. (2020). A partir de la serie temporal de fPAR, se estimó el área bajo la curva (AUC) para cada parcela como un indicador integrador de la eficiencia de interceptación de la radiación a lo largo del ciclo del cultivo.

Luego de la madurez fisiológica, se cosecharon todas las plantas de 3 metros lineales de los 3 surcos centrales de cada parcela (1,575 m²). Se pesó la biomasa completa y se estimó la biomasa seca total considerando un contenido de humedad del 5% sobre el peso total de la muestra inicial. Cada muestra se trilló en trilladora estacionaria, la biomasa total de granos cosechados se pesó y se cuantificó la humedad para estimar el rendimiento en grano. El índice de cosecha se obtuvo a partir de la división entre el rendimiento (0% HR) y la biomasa (0% HR). De cada muestra se tomó una alícuota de 200 granos y se pesó para estimar el peso medio del grano. El número de granos por metro cuadrado (NG/m²) se estimó dividiendo el rendimiento por el peso medio del grano.

- Análisis de datos:

Para evaluar el impacto de los tratamientos sobre la captura de radiación se comparó la fPAR a lo largo de todo el ciclo considerando los valores medidos en función del día de la emergencia. Se realizó un análisis de la varianza para estimar el efecto de los tratamientos sobre la biomasa, índice de cosecha, el NG/m², el peso unitario del grano, el rendimiento y el AUC mediante modelos mixtos, considerando como factor fijo al tratamiento y como factor aleatorio al bloque. Las medias se compararon mediante el método LSD Fisher (alfa = 0,05). Se realizaron regresiones entre el rendimiento y sus componentes numéricos y entre ambos componentes numéricos entre sí para evaluar posibles efectos cualitativos de alguna condición del cultivo sobre las relaciones esperables según la bibliografía.

Resultados

El cultivo emergió el 15 de junio, sin observarse diferencias entre tratamientos en la fecha de emergencia. Las densidades logradas no tuvieron diferencias significativas entre tratamiento ($p = 0,7054$), con valores medios de 327 y 313 plantas/m² para los tratamientos Megafol y Testigo, respectivamente. La espigazón ocurrió el 7 de octubre. La campaña se caracterizó por un invierno húmedo, con aproximadamente 100 mm acumulados entre junio y agosto, seguido por un período con precipitaciones por debajo del promedio histórico entre septiembre y noviembre (alrededor del período crítico), con un total acumulado de 167 mm en ese trimestre. No se registraron eventos de heladas atípicos para la región, con la excepción de una helada agronómica ocurrida el 27 de octubre, en la que se midieron 3 °C en cabina meteorológica. Sin embargo, no se observaron daños claros en el cultivo atribuibles a dicho evento. Las condiciones durante el llenado de grano fueron las típicas para la región.

i) Estimación y comparación de la eficiencia de intercepción de la radiación

La evolución de la eficiencia de intercepción de la radiación estimada a partir de la fPAR a lo largo del ciclo difirió entre tratamientos (Figura 1). El área bajo la curva de la fPAR a lo largo del ciclo (AUC; variable sin unidades) fue diferente entre tratamientos ($p = 0,04$), siendo mayor para Megafol (AUC = 75,9) que para el Testigo (AUC = 62,6). No obstante, las diferencias fueron más notorias previo a la intervención sobre los cultivos (pre-aplicación de Megafol), mientras que luego de la aplicación la magnitud de las diferencias se redujo por un incremento más que proporcional de la fPAR en el Testigo (Figura 1). Hacia la espigazón, las condiciones de sequía exploradas por los cultivos generaron una disminución de la fPAR similar entre ambos tratamientos y lo mismo sucedió durante el llenado de granos evidenciando el proceso de senescencia. Así, la fPAR fue similar entre tratamientos durante la mayor parte del período crítico y de llenado de granos.

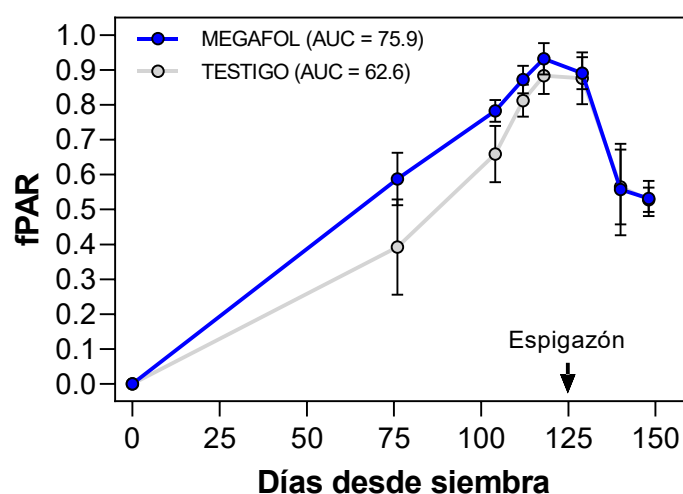


Figura 1. Evolución de la fPAR a lo largo del ciclo del cultivo de trigo para los tratamientos Megafol y Testigo en América, Buenos Aires, en la campaña 2025-2026. Se indica la fecha de espigazón. El valor promedio de fPAR para cada tratamiento en cada fecha se indica con un punto y las

barras de error indican el desvío estándar. Los valores indicados del AUC son el promedio de cuatro repeticiones de la integral del área bajo la curva a lo largo de todo el ciclo del cultivo.

ii) Componentes ecofisiológicos y numéricos del rendimiento

El rendimiento promedio del ensayo con 0% humedad relativa fue de 3818 kg/ha (equivalente a 4353 kg/ha a humedad comercial de 14%). No se observaron diferencias significativas entre tratamientos tanto para la biomasa, rendimiento, IC, número de granos (NG/m²) y peso medio del grano. Cabe destacar que los valores de IC y peso del grano fueron relativamente elevados para el cultivo de trigo en ambos tratamientos, con una tendencia a menor número de granos, pero mayor peso del grano relativos para el Megafol respecto del testigo.

En términos de componentes numéricos, el rendimiento fue explicado en su mayor medida por el número de granos por unidad de superficie ($R^2 = 0,63$) y en una proporción insignificante por variaciones en el peso medio del grano ($R^2 = 0,03$) (Figura 2). Se encontró una relación negativa y consistente ($R^2 = 0,53$) entre ambos componentes del rendimiento, sugiriendo compensaciones fuertes, pero no directamente ligadas a un tratamiento, sino que presentes en los cultivos en general pertenecientes al ensayo (Figura 2).

Tabla 2. Análisis de la varianza y comparación de medias (LSD Fisher; $\alpha = 0,05$) del efecto de los tratamientos (Megafol y Testigo) para el Rendimiento seco, la Biomasa seca, el índice de cosecha (IC), el número de granos por metro cuadrado (NG/m²) y el peso seco promedio de 1000 granos (PG). Se indica el p-valor del análisis de la varianza. Letras diferentes indican diferencias significativas. Para la descripción de los tratamientos ver la Tabla 1.

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Biomasa (kg/ha)	IC	Número de granos (NG/m ²)	Peso del grano (g)
Megafol	3836	8138	0,47	9747	41,2
Testigo	3801	8092	0,49	10890	37,5
<i>p-valor</i>	0,93	0,97	0,68	0,37	0,25

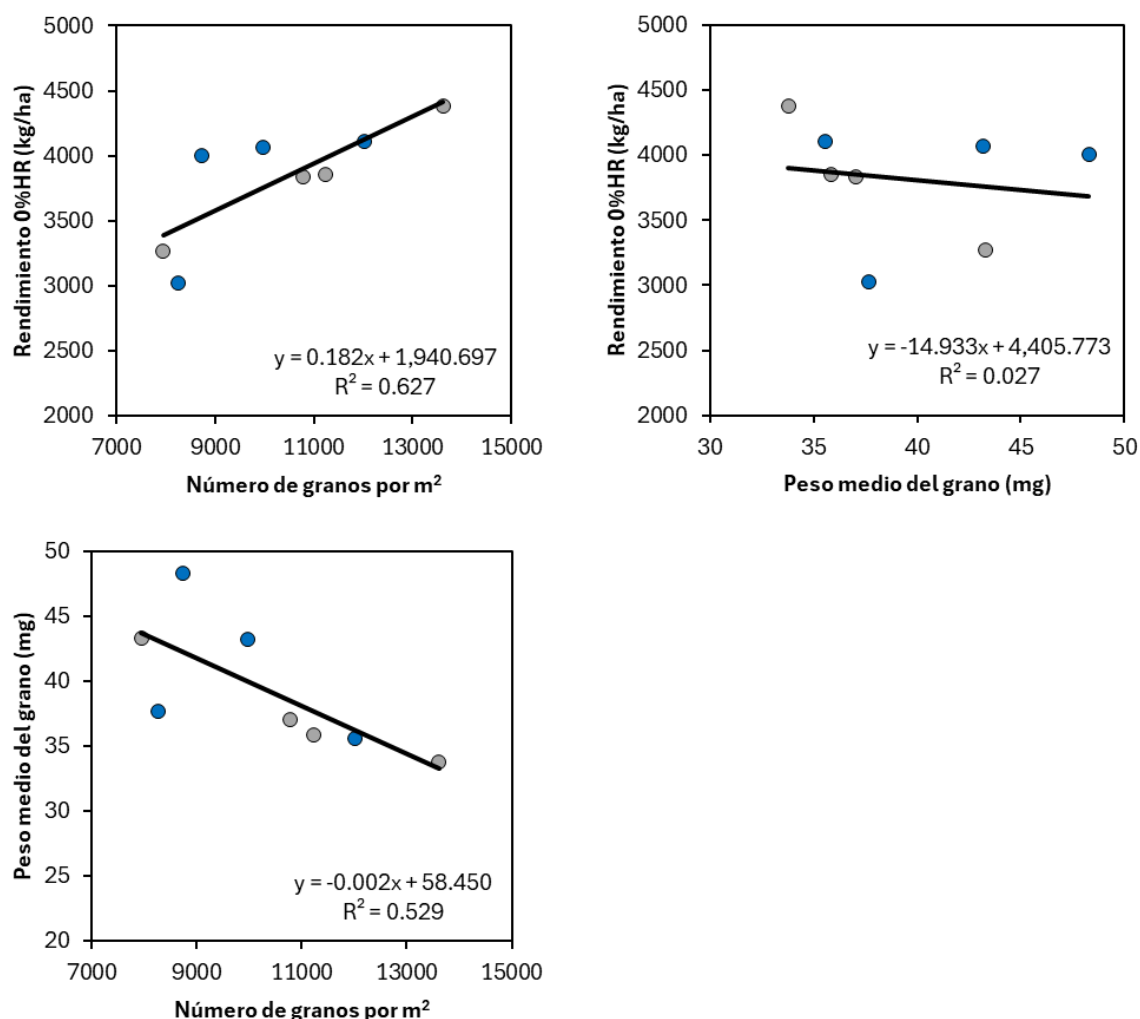


Figura 2. Relaciones entre el rendimiento de grano y sus componentes en trigo (valores expresados al 0% HR). Arriba izquierda: rendimiento (kg/ha) en función del número de granos por m². Arriba derecha: rendimiento (kg/ha) en función del peso de mil granos (g). Abajo: peso de mil granos (g) en función del número de granos por m². Los puntos corresponden a parcelas individuales y se distinguen por tratamiento (Megafol = azules; Testigo = grises). Las líneas indican el ajuste de regresión lineal para todos los datos; en cada panel se presenta la ecuación del modelo ajustado y el coeficiente de determinación (R^2).

Conclusiones

En la campaña 2025–2026, los rendimientos regionales se ubicaron por encima del promedio histórico, con registros superiores a 6000 kg/ha (0% HR). En el ensayo, el rendimiento promedio fue de 3818 kg/ha, sin diferencias significativas entre tratamientos para las variables registradas. La brecha entre el desempeño regional y el del ensayo se interpreta a partir de limitaciones ambientales propias del sitio, incluyendo la posición de loma y un trimestre septiembre–noviembre con precipitaciones por debajo del promedio histórico para el campo experimental en particular (167 mm), lo que restringió el crecimiento y la generación de rendimiento respecto del potencial observado a escala regional. En el marco general de comportamiento del cultivo mencionado y como es de esperar para el cultivo de trigo, el componente más afectado fue el

número de granos (NG/m^2), que apareció como el principal componente que determinó las variaciones del rendimiento del ensayo (Figura 2). El peso de grano mostró valores atípicamente elevados, pero explicó una proporción extremadamente pequeña de la variabilidad del rendimiento, como es esperable para el cultivo de trigo (Figura 2).

Respecto del objetivo del ensayo, se observaron respuestas de las estrategias evaluadas sobre la captura de radiación integrada durante el ciclo del cultivo (AUC del fPAR), pero estas se presentaron previo a la aplicación de los tratamientos (efectos aleatorios dentro del error experimental) y no se evidenciaron luego de la aplicación, durante el período crítico y de llenado de granos (Figura 1). Tampoco se observaron diferencias significativas sobre las variables de rendimiento, biomasa, IC y componentes numéricos (Tabla 2). Estos resultados se pueden interpretar a raíz de la aleatoriedad de las respuestas en un año que se presentó relativamente húmedo y con buena disponibilidad hídrica inicial, pero luego de la aplicación de un estresante como difenoconazole y la combinación de una leve sequía durante parte del período crítico (producto de lluvias intermitentes y elevada demanda atmosférica alrededor de la espigazón y antesis) y una helada leve luego del cuaje de granos, puede haber generado efectos adversos atípicos y mayores a los esperables a detectar como efecto de la aplicación de un tratamiento fitoestimulante en la primera parte del período crítico. Las tendencias generales observadas de un mayor o menor rendimiento medio y sus respectivos componentes ecofisiológicos y numéricos no fueron suficientes para manifestar diferencias claras entre tratamientos para las condiciones ambientales exploradas.

En base a los resultados obtenidos, se sugiere repetir la evaluación en otros ambientes y/o campañas, priorizando situaciones variadas en términos de oferta ambiental, con mayor probabilidad de limitación nutricional, efectos estresantes cualitativos no aditivos ni interactivos (p.ej. únicamente sequía, alta demanda atmosférica o efecto fitotóxico, sin grandes combinaciones), de modo de generar condiciones de estrés similares a las presentes en el ensayo, pero que permitan identificar con mayor claridad posibles diferencias o comportamientos diferenciales entre tratamientos. No obstante, se considera fundamental explorar de manera profunda la generación del rendimiento a través de la cuantificación de la captura de radiación (AUC de la fPAR a lo largo del ciclo), los componentes ecofisiológicos (biomasa, IC) y numéricos (NG/m^2 y PG), tal como se realizó en el presente estudio.