

Evaluación de productos y estrategias de fitoestimulación en trigo

Proyecto Spraytec – 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 Spraytec, con el objetivo de evaluar el efecto de varios productos de fitoestimulación, en semilla y foliares, aplicados de manera aislada o como estrategia de manera conjunta, 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 (N46 – P0 – K0) 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 acción. 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 de Spraytec. El ensayo consistió en la evaluación de cinco tratamientos que combinaron estrategias de aplicación de productos fitoestimulantes provistos por la empresa Spraytec. Los tratamientos fueron: i) Testigo: control sin aplicación de fitoestimulantes; ii) Topseed: aplicación de 300 cc/100 kg de semilla de Topseed como tratamiento de semilla a la siembra; iii) Topzinc: aplicación de 300 cc/ha de Topzinc como fitoestimulante y antiestresante foliar en inicios de encañazón (estado de Zadoks 3.1); iv) Cubo + Absortec: aplicación de 300 cc/ha de Cubo + 3 l/ha de Absortec como fitoestimulantes, antiestresantes y promotores de la protección del cultivo foliares en hoja bandera (estado de Zadoks 3.9); v) Topseed + Topzinc + Cubo + Absortec: aplicación de la combinación de los tratamientos “Topseed”, “Topzinc”, “Cubo” y “Absortec” de manera apilada y secuencial, siguiendo los mismos lineamientos que aquellos utilizados para cada producto en los respectivos tratamientos mencionados anteriormente. 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	Productos y dosis aplicados en cada momento del ciclo del cultivo		
	En semilla	En inicios de encañazón	En hoja bandera
Testigo	-	-	-
Topseed	Topseed (300 cc/100 kg semilla)	-	-
Topzinc	-	Topzinc (300 cc/ha)	-
Cubo + Absortec	-	-	Cubo (300 cc/ha) + Absortec (3 l/ha)
Topseed + Topzinc + Cubo + Absortec	Topseed (300 cc/100 kg semilla)	Topzinc (300 cc/ha)	Cubo (300 cc/ha) + Absortec (3 l/ha)

- 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 intercepción 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 intercepción 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 ($\alpha = 0,05$). 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

i) Fenología y condiciones meteorológicas generales durante el ciclo del cultivo

El cultivo emergió el 15 de junio de 2025, sin observarse diferencias entre tratamientos en la fecha de emergencia. La espigazón ocurrió el 7 de octubre y los tratamientos tampoco presentaron diferencias entre sí en la fecha de ocurrencia de ese evento fenológico. 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.

ii) Densidad de plantas lograda

Los tratamientos presentaron diferencias significativas entre sí para las densidades logradas ($p = 0,015$) (Tabla 2). No obstante, las diferencias entre tratamientos no siguieron un patrón lógico correspondiente con el tratamiento de semillas, considerando que aquellos con aplicación de Topseed mostraron tanto los mayores (Topseed) como los menores (Topseed + Topzinc + Cubo + Absortec) valores dentro de todos los evaluados, con valores intermedios para el resto de los tratamientos (Tabla 2).

Tabla 2. Densidad lograda medida un mes después de la siembra del cultivo de trigo para cinco tratamientos evaluados (Testigo, Topseed, Topzinc, Cubo + Absortec, Topseed + Topzinc + Cubo + Absortec) en América, Buenos Aires, en la campaña 2025-2026.

Tratamiento	Densidad lograda (plantas/m ²)
Testigo	313
Topseed	330
Topzinc	266
Cubo + Absortec	323
Topseed + Topzinc + Cubo + Absortec	234
<i>p-valor</i>	0,015

iii) 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 varió entre tratamientos (Figura 1). El área bajo la curva de la fPAR a lo largo del ciclo (AUC; variable sin unidades) fue mayor para el tratamiento de Cubo + Absortec (AUC = 76) que para el Testigo (AUC = 67,3), con valores intermedios para el resto de los tratamientos ($p = 0,023$). No obstante, cabe destacar que las diferencias fueron más notorias en los primeros estadios, no necesariamente atribuido al tratamiento de semilla (los tratamientos Topseed y Topseed + Topzinc + Cubo + Absortec difirieron entre sí durante todo el macollaje y la encañazón) (Figura 1). Durante las primeras etapas del período crítico (hoja bandera y vaina engrosada) los tratamientos que incluyeron Cubo + Absortec presentaron mayor fPAR que los que no lo hicieron. Sin embargo, a medida que avanzó el periodo crítico, pasada la espigazón y durante todo el llenado de los granos, las diferencias entre tratamientos desaparecieron y presentaron dinámicas de la evolución del fPAR muy similares entre sí (Figura 1).

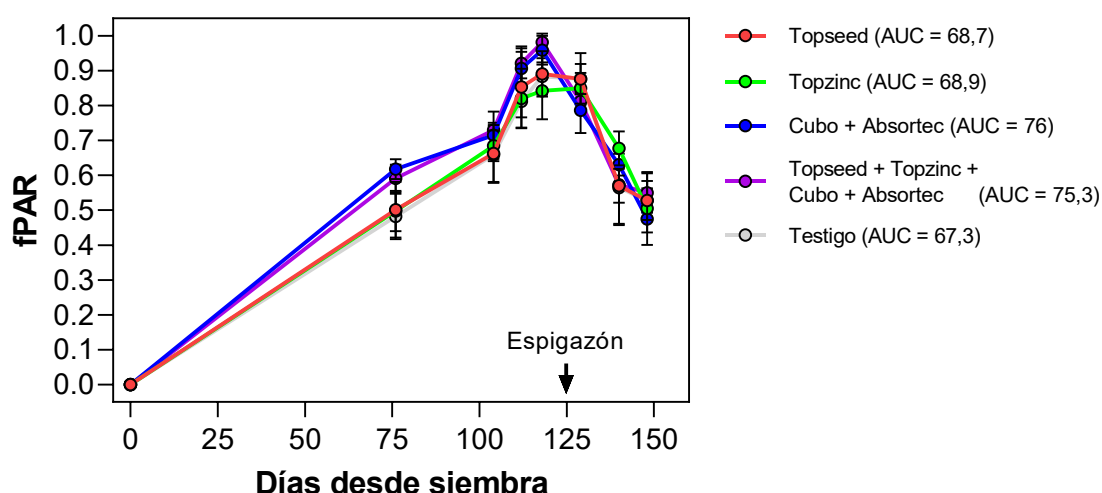


Figura 1. Evolución de la fPAR a lo largo del ciclo del cultivo de trigo para los tratamientos Testigo, Topseed, Topzinc, Cubo + Absortec y Topseed + Topzinc + Cubo + Absortec en América, Buenos Aires, en la campaña 2025-2026. Se indica la fecha de espigazón. El valor promedio de fPAR para cada tratamiento 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.

iv) Componentes ecofisiológicos y numéricos del rendimiento

El rendimiento seco promedio del ensayo fue de 4025 kg/ha (equivalente a un rendimiento de 4588 kg/ha en humedad comercial del 14%). Se observaron diferencias significativas entre tratamientos para el rendimiento ($p = 0,002$), siendo el tratamiento de fitoestimulación completa en tres momentos con la combinación de los cuatro productos (Topseed + Topzinc + Cubo + Absortec) el de mayor rendimiento, en niveles similares al tratamiento que incluyó únicamente Topseed, con el tratamiento de Topzinc como el de menor rendimiento, sin diferencias respecto del Testigo y con un valor de rendimiento intermedio para el tratamiento de Cubo + Absortec (Tabla 3, Figura 2). Las diferencias de rendimiento fueron explicadas en términos generales por diferencias de similar magnitud relativa (aunque con menor peso estadístico) tanto para la biomasa ($p = 0,11$) como para el número de granos por unidad de superficie ($p = 0,07$) (Tabla 3, Figura 2). Los tratamientos de mayor rendimiento fueron aquellos con mayor valor medio de biomasa y número de granos por m^2 , así como lo opuesto sucedió con los de menor rendimiento. En contraste, el IC y el peso medio del grano no presentaron variaciones significativas en magnitud entre tratamientos, destacándose los altos valores en general de estas variables en todo el ensayo considerando los valores típicos para el cultivo de trigo en la región.

En términos de componentes numéricos, el rendimiento fue explicado en su mayor medida por el número de granos por unidad de superficie ($R^2 = 0,80$) y en una proporción insignificante por variaciones en el peso medio del grano ($R^2 = 0,003$) (Figura 3). Se encontró una relación negativa, aunque débil ($R^2 = 0,24$) entre ambos componentes del rendimiento, sugiriendo compensaciones relativas, pero no directamente ligadas a un tratamiento, sino que presentes en los cultivos en general pertenecientes al ensayo (Figura 3).

Tabla 3. Análisis de la varianza y comparación de medias (LSD Fisher; alfa = 0,05) del efecto de los tratamientos (Testigo, Topseed, Topzinc, Cubo + Absortec, Topseed + Topzinc + Cubo + Absortec) 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 medio del grano. Se indica el p-valor del análisis de la varianza. Letras diferentes indican diferencias significativas. Para la combinación de producto y momento de aplicación de cada tratamiento ver la Tabla 1.

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Biomasa (kg/ha)	IC	Número de granos (NG/m ²)	Peso del grano (g)
Testigo	3836 CD	8092	0,49	10890	37,8
Topseed	4412 AB	8919	0,50	12135	38,4
Topzinc	3445 D	7121	0,48	9226	39,7
Cubo + Absortec	3987 BC	7895	0,51	11385	37,4
Topseed + Topzinc + Cubo + Absortec	4668 A	9656	0,49	12730	38,7
<i>p-valor</i>	0,002	0,11	0,97	0,07	0,84

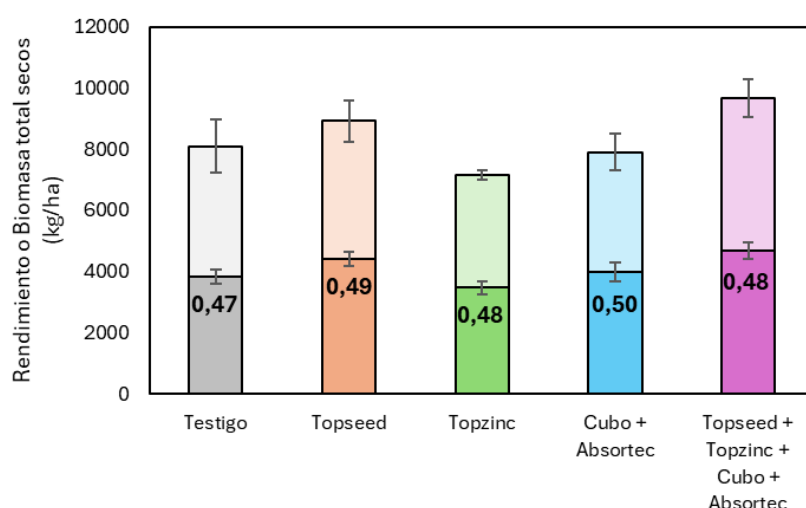


Figura 2. Biomasa aérea total y rendimiento de grano de trigo (kg/ha; 0% HR) para los tratamientos Testigo, Topseed, Topzinc, Cubo + Absortec, Topseed + Topzinc + Cubo + Absortec. La altura completa de las barras representa la biomasa total y el segmento sombreado inferior de cada barra representa el rendimiento de grano. Las barras de error indican el error estándar de la media. Los valores numéricos de cada barra corresponden al índice de cosecha (IC).

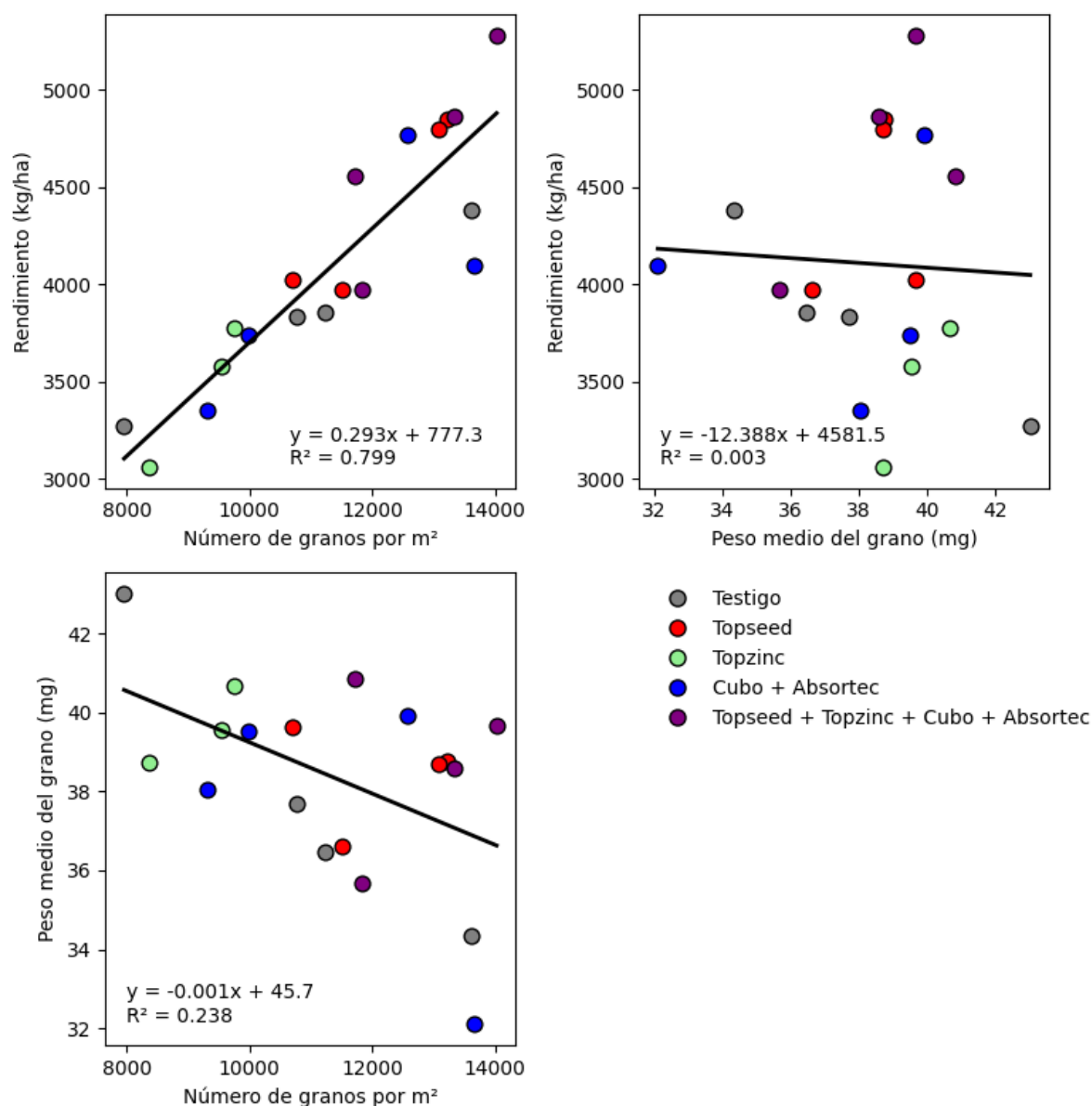


Figura 3. Relaciones entre el rendimiento de grano y sus componentes en trigo (valores expresados al 0% HR). Arriba izquierda: rendimiento (kg/ha) en función del número de granos por m². Arriba derecha: rendimiento (kg/ha) en función del peso de mil granos (g). Abajo: peso de mil granos (g) en función del número de granos por m². Los puntos corresponden a parcelas individuales y se distinguen por tratamiento (Testigo, Topseed, Topzinc, Cubo + Absortec, Topseed + Topzinc + Cubo + Absortec). Las líneas indican el ajuste de regresión lineal; en cada panel se presenta la ecuación del modelo 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 4025 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 baja y un trimestre septiembre-noviembre con precipitaciones por debajo del promedio histórico para el campo experimental en particular (167 mm), además de la posible fitotoxicidad leve al cultivo generada intencionalmente por la aplicación de difenoconazole, 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 por unidad de superficie, que apareció como el principal componente que determinó las variaciones del rendimiento del ensayo (Figura 3). El peso de grano mostró valores relativa y atípicamente elevados para todos los tratamientos, pero explicó una proporción extremadamente pequeña de la variabilidad del rendimiento, como es esperable para el cultivo de trigo (Figura 3).

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 foliares, sin corresponderse consistentemente con efectos del tratamiento de semilla (efectos aleatorios dentro del error experimental). Además, las diferencias entre tratamientos del fPAR fueron disminuyendo a medida que avanzó el período crítico y el llenado de granos (Figura 1). Si fue consistente que el tratamiento Testigo presentó menor radiación interceptada total (AUC del Fpar) respecto que el tratamiento de estrategia de apilación de todos los productos de fitoestimulación, antiestresantes y estimulación de las defensas del cultivo (Topseed + Topzinc + Cubo + Absortec), que también se correspondió con tendencias a diferencias equivalentes en biomasa total, número de granos por unidad de superficie y, con diferencias de magnitudes relativas importantes de rendimiento (más de 800 kg/ha, equivalente al 20%) (Tabla 3). No obstante, no sucedió algo similar cuando se analizaron las diferencias entre el testigo y el resto de los tratamientos de aplicación de fitoestimulantes por separado (Tabla 3).

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 anthesis) 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. Adicionalmente, la fitoestimulación producto de la aplicación de los tratamientos respectivos puede haber generado efectos menores a los suficientes para generar marcadas diferencias de rendimiento producto de condiciones variables de estrés como alta demanda atmosférica en floración y una helada agronómica muy leve durante la primera mitad del llenado de granos. Es de interés mencionar que la estrategias de fitoestimulación, antiestresante y estimulación de la protección de manera conjunta con mayor rendimiento medio y tendiente a presentar mayor biomasa y números de granos por unidad de superficie parecen haber promovido una respuesta positiva en el cultivo de cara al conjunto de condiciones ambientales exploradas mencionado, con interacciones complejas.

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/m² y PG), tal como se realizó en el presente estudio.