

Evaluación de productos y estrategias de fitoestimulación en maíz tardío

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 diferentes productos de fitoestimulación aplicados en maíz durante estadios vegetativos tempranos sobre la evolución del cultivo, la captura de radiación y la productividad en grano.

El análisis se orientó a cuantificar cambios en variables asociadas a la generación del rendimiento, incluyendo la densidad lograda, la fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo (fPAR), el rendimiento y sus componentes numéricos. De manera equivalente al informe de referencia, el objetivo adicional fue generar información aplicada y fortalecer la formación de estudiantes residentes en Agroinnova en experimentación a campo, registro de datos, análisis e interpretación agronómica de ensayos evaluando insumos disponibles en el mercado para aumentar la productividad de los cultivos.

Materiales y Métodos

Descripción general

El ensayo se condujo en secano y se sembró el 25 de noviembre de 2025 con una sembradora experimental de 4 surcos distanciados a 70 cm. El suelo era de textura franco-arenosa, presentaba 60% de arena, 20,5 ppm de fósforo Bray 1, 1,03 ppm Zn-DTPA, 1,5 mEq/100 g de Mg y 2,5% de materia orgánica (0-20 cm). El cultivo antecesor fue maíz. El perfil del suelo estaba prácticamente en capacidad de campo al momento de la siembra, dado un otoño lluvioso y una recarga de 199 mm entre agosto y la fecha de siembra. Además, 5 días luego de la siembra ocurrió una lluvia de 40 mm. Las precipitaciones totales durante el ciclo del cultivo (diciembre-abril) fueron de 531 mm, con unos 106 mm caídos durante el período crítico del cultivo (fines de enero a fines de febrero). La densidad objetivo fue de 70.000 semillas/ha. El manejo de fertilización incluyó 190 kg/ha de urea para todos los tratamientos con evaluación de productos fitoestimulantes, incluido un testigo fertilizado sin aplicación de fitoestimulantes, además de un tratamiento de control absoluto (T0) sin nitrógeno. Los tratamientos de fitoestimulación se aplicaron durante V4-V6.

Tratamientos y diseño experimental

El ensayo incluyó nueve tratamientos con cuatro repeticiones por tratamiento, con un diseño completamente aleatorizado. En la Tabla 1 se detallan los tratamientos, productos, dosis y momento de aplicación.

Tabla 1. Tratamientos evaluados, productos, dosis y momento de aplicación.

Tratamiento	Nombre	Producto/s y dosis	Momento
T0	Control sin N (0N)	-	-
T1	Control con N (190 Kg/Ha Urea)	-	-
T2	TopZinc	TopZinc 300 cc/ha	V4-V6
T3	Cubo	Cubo 300 cc/ha	V4-V6
T4	Tractus Kit	Tractus Kit 500 g/ha	V4-V6
T5	TopZinc + Tractus Kit	TopZinc 300 cc/ha + Tractus Kit 500 g/ha	V4-V6
T6	Tractus Kit + CuBo	Cubo 300 cc/ha + Tractus Kit 500 g/ha	V4-V6
T7	Impulse	Impulse 300 cc/ha	V4-V6
T8	UltraZinc	UltraZinc 300 cc/ha	V4-V6

Mediciones y estimaciones

Se estimó la densidad lograda a partir del conteo de plantas en 6 m lineales de surco y su conversión a plantas/m². El seguimiento ecofisiológico del cultivo se realizó mediante estimaciones de la fracción de la radiación incidente interceptada por el cultivo (fPAR) en cuatro momentos del ciclo: 7 de enero, 19 de enero, 30 de enero y 18 de febrero. Las mediciones durante el período vegetativo se realizaron utilizando un GreenSeeker con medición de índice verde normalizado, para luego convertir ese valor a fPAR mediante el modelo de Gitelson et al. (2014). La última medición, entre los estadíos R1 y R2, se realizó mediante el uso de una barra PAR (Cavadevices) con una medición de la radiación incidente afuera de cada parcela y tres mediciones por encima de la última hoja senescida en cada parcela. Para integrar la captura de radiación a lo largo del ciclo se calculó el área bajo la curva de fPAR (AUC fPAR) mediante integración trapezoidal, considerando fPAR = 0 al momento de la siembra y los valores registrados el 7/1, 19/1, 30/1 y 18/2.

La cosecha se realizó de manera manual por parcela y se registraron peso de muestra, humedad, corregido a 14,5% de humedad, peso de 1000 granos (a partir de 200 granos pesados) y número de granos por m².

Análisis de datos

Se realizó análisis de la varianza para evaluar el efecto de los tratamientos sobre densidad lograda, AUC fPAR, rendimiento, número de granos por m² y peso de 1000 granos. Las medias se compararon mediante LSD Fisher (alfa = 0,05); las medias de tratamientos no diferentes entre sí se informaron con la misma letra. Además, se realizaron regresiones lineales entre rendimiento y sus componentes numéricos para interpretar la fuente principal de variación del rendimiento dentro del ensayo.

Resultados

i) Fenología y evolución general del cultivo

Las observaciones de seguimiento indicaron un desarrollo vegetativo uniforme entre tratamientos. Las mediciones de fPAR se realizaron en V5 (7 de enero), V10 (19 de enero), V13 (30 de enero) y luego de R1 (18 de febrero).

ii) Densidad de plantas lograda

La densidad promedio lograda del ensayo fue de 6,7 plantas/m². No se detectaron diferencias significativas entre tratamientos para esta variable (p = 0,637), con valores medios que variaron entre 6,4 y 7,1

plantas/m² (Tabla 2). Esto indica que las diferencias posteriores en fPAR o rendimiento no estuvieron asociadas a cambios marcados en el establecimiento del cultivo.

Tabla 2. Densidad lograda y AUC fPAR para los tratamientos evaluados en maíz.

Tratamiento	Nombre	Densidad (pl/m ²)	AUC fPAR	Signif. (alfa = 0,05)
T0	Control (0N)	6,4	25,3	A
T1	Control (190 Kg/Ha Urea)	6,7	24,6	A
T2	TopZinc	6,7	24,8	A
T3	Cubo	6,5	25,1	A
T4	Tractus Kit	6,5	25,3	A
T5	TopZinc + Tractus Kit	7,1	25,4	A
T6	Tractus Kit + CuBo	6,7	25,6	A
T7	Impulse	6,8	22,8	A
T8	UltraZinc	6,6	23,9	A
p-valor		0,637	0,446	

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

La evolución de la fPAR presentó la dinámica esperable para un cultivo de maíz en crecimiento, con aumentos marcados entre el 7 y el 30 de enero y valores elevados hacia el 18 de febrero (Figura 1). El AUC fPAR no presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,446$). Los valores medios se ubicaron entre 22,8 y 25,6, sin un patrón consistente de separación entre el control fertilizado y los tratamientos con fitoestimulantes.

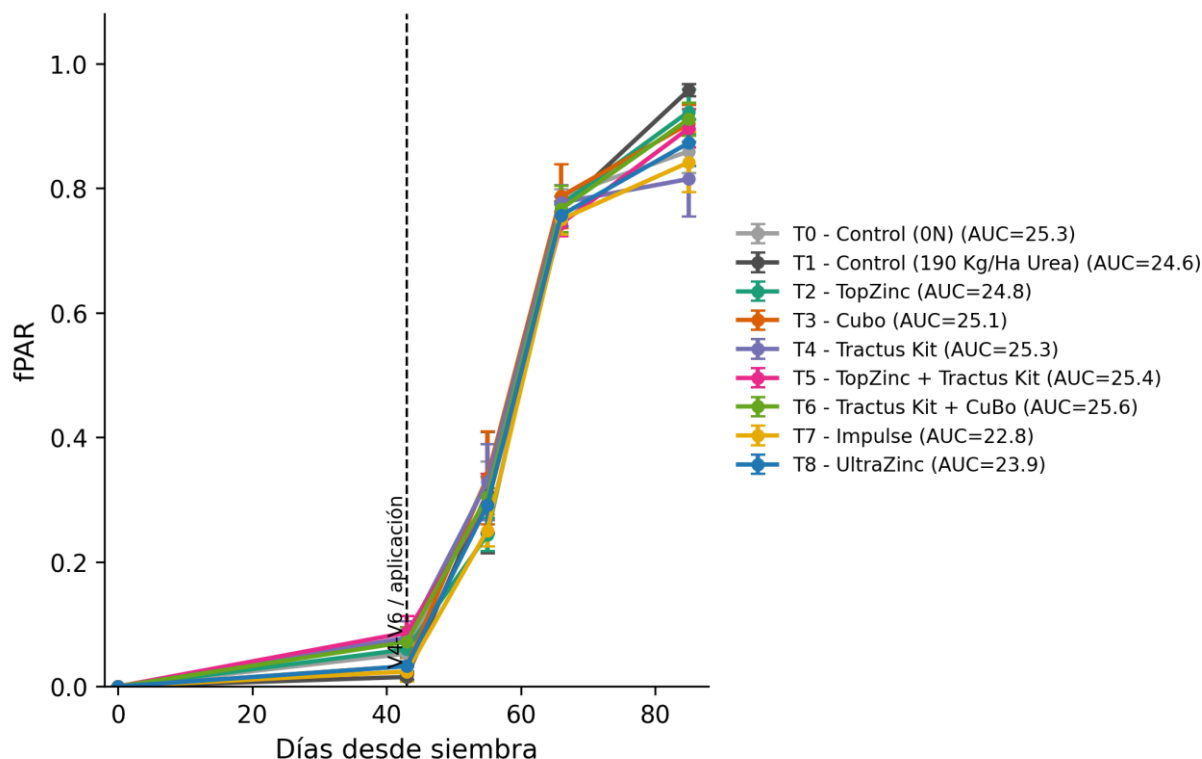


Figura 1. Evolución de la fPAR a lo largo del ciclo del cultivo de maíz para los tratamientos evaluados. Los puntos indican el promedio de cuatro repeticiones y las barras de error el error estándar. La línea punteada indica el momento aproximado de aplicación de los tratamientos en V4-V6. Los valores de AUC corresponden al promedio de la integral de fPAR para cada tratamiento. La estimación de fPAR a partir de NDVI fue realizada con el modelo de Gitelson et al. (2014).

iv) Rendimiento y componentes numéricos

El rendimiento promedio del ensayo fue de 12.284 kg/ha corregido a 14,5% de humedad. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos para rendimiento ($p = 0,939$), número de granos por m^2 ($p = 0,771$), ni peso de 1000 granos ($p = 0,755$) (Tabla 3 y Figuras 2 y 3).

En términos numéricos, el mayor rendimiento medio correspondió a TopZinc (T2), con 12.987 kg/ha, equivalente a una diferencia de 1.117 kg/ha (9,4%) respecto del control fertilizado T1. Sin embargo, esta diferencia debe interpretarse como una tendencia descriptiva y no como una respuesta estadísticamente comprobada (Tabla 3 y Figuras 2 y 3).

Tabla 3. Rendimiento, componentes numéricos y diferencia respecto del control fertilizado T1.

Tratamiento	Nombre	Rendimiento (kg/ha)	NG/m ²	P1000 (g)	Dif. vs T1 (kg/ha)	Signif. (alfa = 0,05)
T0	Control (0N)	12.117	3.745	323,1	247	A
T1	Control (190 Kg/Ha Urea)	11.870	3.685	322,7	0	A
T2	TopZinc	12.987	4.179	310,7	1.117	A
T3	Cubo	12.224	3.723	329,6	354	A
T4	Tractus Kit	12.099	3.846	314,6	229	A
T5	TopZinc + Tractus Kit	12.664	3.871	325,9	794	A
T6	Tractus Kit + CuBo	11.867	3.752	316,9	-3	A
T7	Impulse	12.145	3.799	320,2	275	A
T8	UltraZinc	12.581	3.916	321,6	711	A
p-valor		0,939	0,771	0,755		

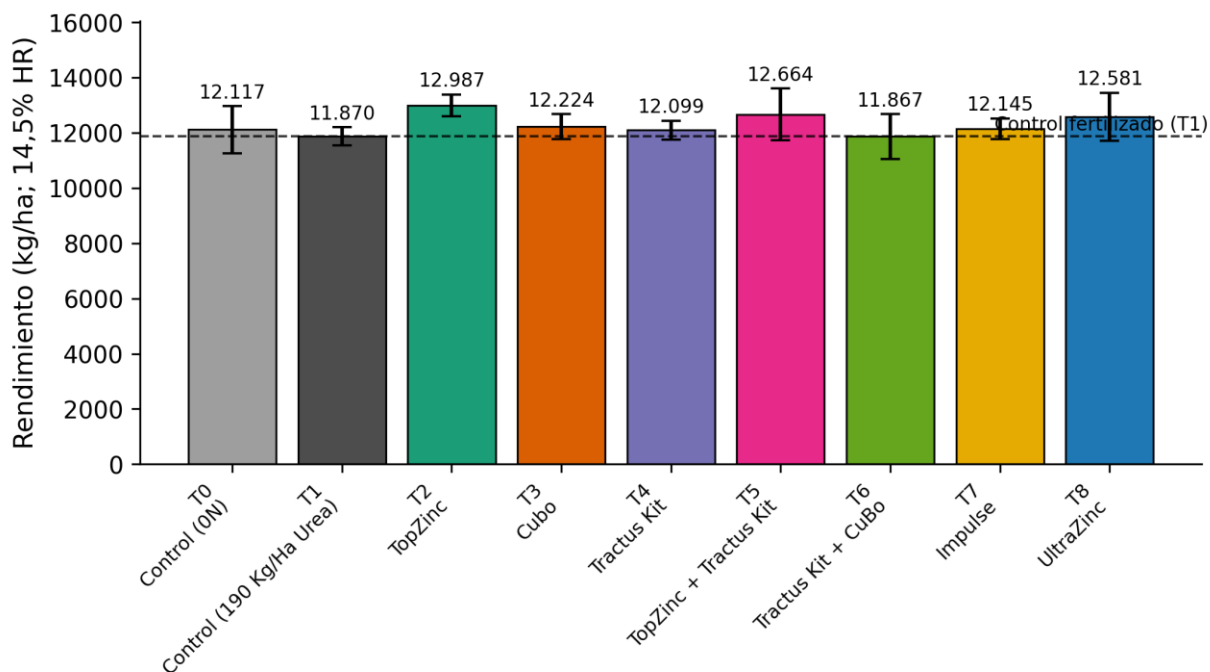


Figura 2. Rendimiento de grano de maíz corregido a 14,5% de humedad para los tratamientos evaluados. Las barras indican medias y las barras de error el error estándar. La línea punteada corresponde al rendimiento medio del control fertilizado T1.

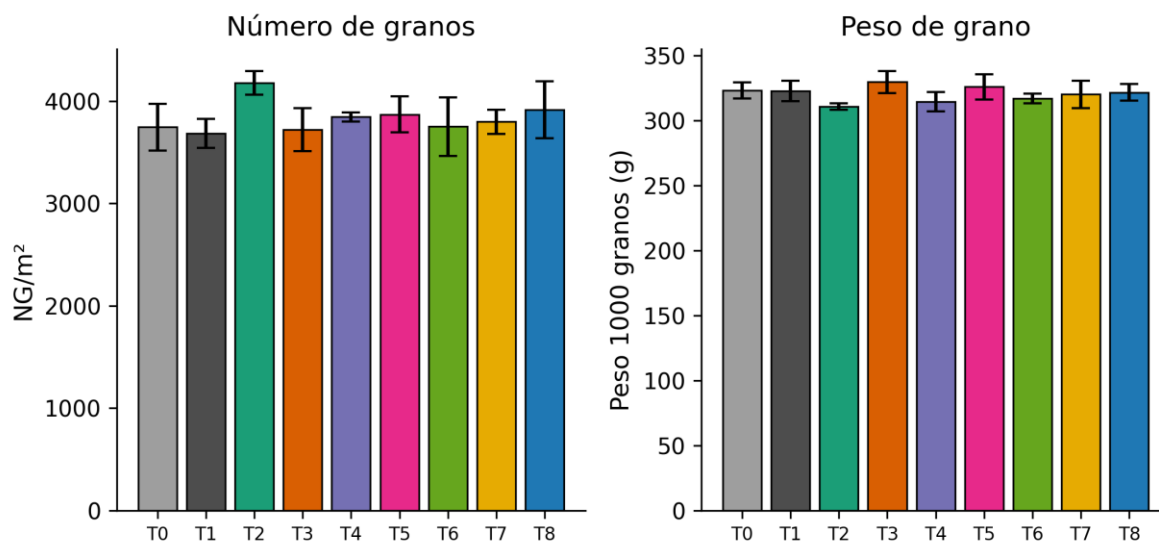


Figura 3. Componentes numéricos del rendimiento para los tratamientos evaluados: número de granos por m² y peso de 1000 granos corregido a 14,5% de humedad. Las barras indican medias y las barras de error el error estándar.

La variabilidad del rendimiento estuvo explicada principalmente por el número de granos por unidad de superficie ($R^2 = 0.80$), mientras que el peso de 1000 granos explicó una proporción baja de la variación del rendimiento ($R^2 = 0.06$). La relación entre número de granos y peso de 1000 granos fue débil ($R^2 = 0.05$), lo que indica que las compensaciones entre componentes fueron menores dentro del rango explorado por el ensayo (Figura 4).

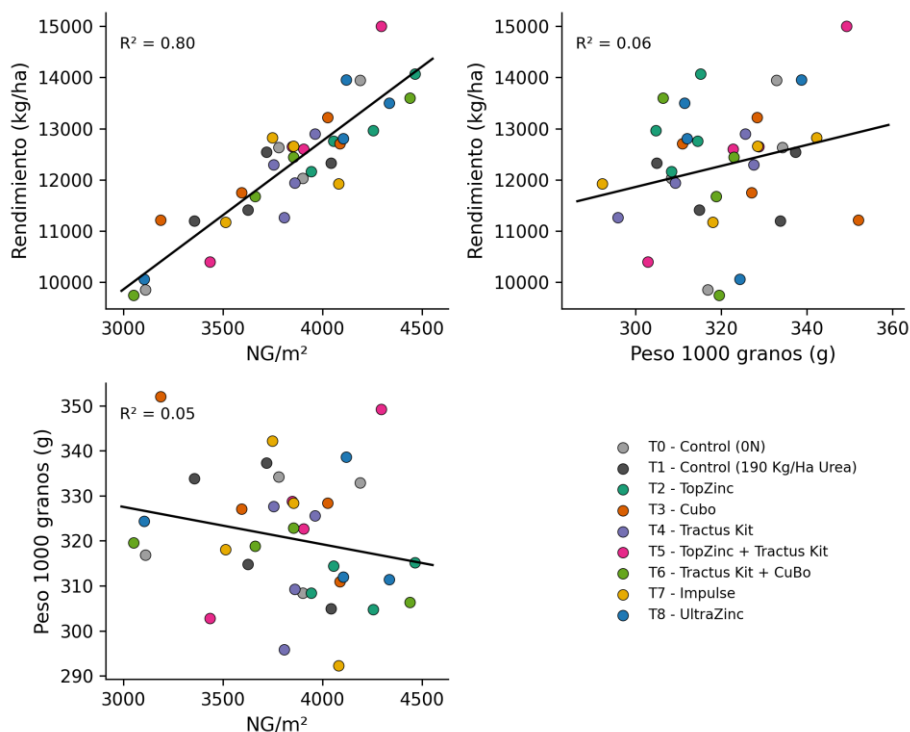


Figura 4. Relaciones entre rendimiento y componentes numéricos en maíz. Los puntos corresponden a parcelas individuales y se distinguen por tratamiento. Las líneas indican el ajuste de regresión lineal y en cada panel se presenta el coeficiente de determinación (R^2).

Conclusiones

El ensayo presentó un rendimiento promedio elevado, de 12.284 kg/ha a 14,5% de humedad, con una densidad lograda promedio de 6,7 plantas/m² y una elevada fijación de granos. En estas condiciones, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para rendimiento, AUC fPAR, número de granos por unidad de superficie ni peso de 1000 granos.

La ausencia de penalidad clara del control 0N respecto del control fertilizado sugiere que, en este ambiente y campaña, la disponibilidad de nitrógeno no habría constituido una limitante suficientemente marcada como para amplificar diferencias entre estrategias de fitoestimulación. Esto reduce la capacidad del ensayo para detectar respuestas asociadas a alivio de estrés o mejora funcional del cultivo bajo limitaciones nutricionales nitrogenadas. Asimismo, la adecuada provisión hídrica durante todo el ciclo evitó mayoritariamente síntomas de estrés hídrico. No obstante, condiciones como las ocurridas pueden haber aumentado la sensibilidad a la falta de micronutrientes en particular.

Aunque no hubo diferencias significativas, algunos tratamientos mostraron ventajas numéricas respecto del control fertilizado. TopZinc fue el tratamiento con mayor rendimiento medio (+1.117 kg/ha; +9,4%), seguido por TopZinc + Tractus Kit y UltraZinc. Estas diferencias deben ser tomadas como indicios exploratorios y no como recomendaciones concluyentes.

Desde el punto de vista ecofisiológico, la variación del rendimiento fue explicada en mayor medida por el número de granos por m² que por el peso de grano. Por lo tanto, futuras evaluaciones deberían priorizar ambientes, campañas o manejos que generen contrastes más claros durante el período crítico de definición del número de granos, además de sostener el seguimiento directo de fPAR, rendimiento y componentes.

En base a estos resultados, se sugiere repetir la evaluación en otros ambientes y campañas, especialmente bajo condiciones con mayor probabilidad de estrés nutricional, hídrico o térmico moderado.



También sería interesante incorporar mediciones de biomasa aérea e índice de cosecha para completar la interpretación ecofisiológica de la respuesta del cultivo, aunque con cierto compromiso operativo que implicaría mayores costos de investigación.