

Bioestimulación en el cultivo de maíz afectado por herbicida

*Joel Iván González Luna*³⁹

*Eliel Esteban Sánchez Fajardo*⁴⁰

*Andrés González Ruiz*⁴¹

*Blancka Yesenia Samaniego Gámez*⁴²

*Raúl Enrique Valle Gough*⁴³

*María Isabel Escobosa García*⁴⁴

*Samuel Uriel Samaniego Gámez*⁴⁵

*Fidel Núñez Ramírez*⁴⁶

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000268>



³⁹ Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México.

⁴⁰ Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México.

⁴¹ Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México.

⁴² Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México.

⁴³ Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México.

⁴⁴ Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México.

⁴⁵ Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México.

⁴⁶ Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México, Autor para correspondencia: fidel.nunez@uabc.edu.mx.

Resumen

El crecimiento temprano del maíz (*Zea mays* L.) está estrechamente influenciado por el manejo agronómico, particularmente por el control de malezas y la disponibilidad de nutrimentos durante las primeras etapas de desarrollo. En este contexto, los bioestimulantes se han propuesto como herramientas complementarias para modular procesos fisiológicos y nutrimentales. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del control químico y cultural de malezas y la aplicación de diferentes bioestimulantes sobre el crecimiento vegetativo y el estado fisiológico del maíz. El experimento se estableció bajo un diseño de parcelas divididas completamente al azar, donde la parcela principal correspondió al tipo de control de malezas (químico y cultural) y la subparcela a la aplicación de bioestimulantes (testigo, Humiforte®, Ixchel® y RFZ®). Los resultados indicaron que el control cultural de malezas fue el principal factor que determinó el crecimiento vegetativo del maíz, promoviendo mayores valores de altura de planta, número de hojas, índice de clorofila y concentración de nitratos. La aplicación de bioestimulantes mostró respuestas diferenciadas, destacando RFZ por su efecto positivo sobre la altura de planta y la modulación del estado nutrimental. Asimismo, se observaron interacciones significativas entre el control de malezas y los bioestimulantes para las variables nutrimentales, lo que evidencia que la respuesta fisiológica del maíz depende del contexto de manejo.

Introducción

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es uno de los sistemas agrícolas más importantes a nivel mundial, y su rendimiento está estrechamente relacionado con el manejo agronómico durante las etapas iniciales de desarrollo. Entre los factores que más influyen en el crecimiento temprano

del cultivo se encuentra el control de malezas, ya que la competencia por agua, nutrimentos y radiación puede reducir significativamente la acumulación de biomasa y la eficiencia fisiológica del maíz. Se ha documentado que una eliminación temprana y eficaz de malezas favorece la absorción de nutrimentos, el desarrollo foliar y la actividad fotosintética, particularmente durante las primeras fases fenológicas, cuando se establecen los componentes estructurales del rendimiento (Teasdale, 1996; Swanton et al., 2015).

En años recientes, el uso de bioestimulantes ha surgido como una herramienta complementaria al manejo agronómico convencional, debido a su capacidad para modular procesos fisiológicos y nutrimentales en las plantas. Estos productos, que incluyen extractos de algas marinas, sustancias húmicas y compuestos con actividad hormonal, han mostrado efectos positivos sobre el crecimiento vegetativo, la eficiencia en el uso de nutrimentos y el estado fisiológico de diversos cultivos (Calvo et al., 2014; du Jardin, 2015). No obstante, la respuesta del maíz a la aplicación de bioestimulantes puede depender del sistema de manejo agronómico, particularmente del tipo de control de malezas empleado. Por ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del control químico y cultural de malezas y la aplicación de diferentes bioestimulantes sobre el crecimiento y el estado fisiológico del maíz en condiciones de campo.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en un campo agrícola de un productor cooperante, ubicado en el ejido San Luis Potosí, municipio de Mexicali, Baja California, México (32°30'46.65" N, 115°06'45.36" O; 18 msnm). La siembra se efectuó el 11 de febrero de 2025, utilizando la variedad de maíz 2423 Asgrow. La parcela experimental se estableció con surcos separados a 1.0 m y una densidad de población de 48 000 plantas ha⁻¹. Se aplicó una fertilización base de 250–22–0 (N–P–K) y se realizaron cinco riegos durante el ciclo del cultivo.

El control de la maleza correhuela (*Convolvulus arvensis* L.) se llevó a cabo el 20 de marzo de 2025. Para el control químico se aplicó el herbicida Pixxaro™, un herbicida selectivo postemergente para malezas

de hoja ancha en cereales. La aplicación se realizó de forma dirigida, utilizando la dosis comercial recomendada. El control cultural consistió en escardas manuales realizadas de manera oportuna. La aplicación de los bioestimulantes se efectuó 62 días después de la siembra. Al momento de la aplicación, las plantas presentaban diferencias en sus características de crecimiento en función del tipo de control de malezas (control químico de malezas: 55.02 cm de altura y 4.2 hojas; control manual de malezas: 75.05 cm de altura y 4.8 hojas). Los bioestimulantes evaluados y su composición se presentan en el Cuadro 1.

El diseño experimental fue de parcelas divididas, distribuidas completamente al azar. La parcela principal correspondió al tipo de control de malezas (químico y cultural), mientras que la subparcela correspondió a la aplicación de los bioestimulantes. Las variables evaluadas a los 45 días después de la aplicación fueron: altura de planta, número de hojas, tasa de crecimiento (altura final-altura inicial), índice de clorofila (SPAD), sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) y concentración de nitratos y potasio en el extracto celular del tallo. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los factores y su interacción. Cuando se detectaron diferencias significativas, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

El control cultural promovió incrementos significativos en altura de planta, tasa de crecimiento, número de hojas e índice de clorofila, en comparación con el control químico ($p < 0.001$). La aplicación de bioestimulantes mostró efectos diferenciados según la variable evaluada. El bioestimulante RFZ presentó la mayor altura de planta, lo que puede asociarse con su composición basada en ácidos fúlvicos y citocininas, compuestos que estimulan la elongación celular y la actividad metabólica, tal como ha sido documentado en cultivos extensivos (Calvo et al., 2014; du Jardin, 2015). En contraste, el número de hojas fue mayor en el tratamiento Control (sin aplicación de bioestimulantes), lo que indica que, bajo las condiciones de fertilización nitrogenada, la emisión foliar no dependió de la aplicación de bioestimulantes. De acuerdo con Muchow y

Sinclair (1994), la tasa de aparición de hojas en maíz está principalmente regulada por la temperatura, la disponibilidad de nitrógeno y el estado hídrico, factores que fueron homogéneos entre tratamientos y suficientes para expresar el desarrollo foliar sin insumos adicionales.

Cuadro 1

Características y dosis de los bioestimulantes aplicados.

Nombre	Ingredientes	Dosis
Humiforte	Aminoácidos libres 2 %, N 6 %, P 3 % y K 5 %, citoquininas 2060 ppm, auxinas 284 ppm, giberelinas 124 ppm, vitaminas, betainas, enzimas, oligoelementos, microorganismos, ácidos fúlvicos y algas marinas.	200 mg L ⁻¹
Ixchel	Algas marinas (<i>Ascophyllum nodosum</i> 45.38 % y <i>Macrocystis pyrifera</i> 25.21 %), potasio (K ₂ O) 4.00 %, nitrógeno orgánico 3.00 %, materia orgánica 20.0 %, boro (B) 0.20 %, cobre (Cu) 0.10%, hierro (Fe) 1.09 %, manganeso (Mn) 0.50%, zinc (Zn) 0.21 %, molibdeno (Mo)0.02 %, y excipiente C.B.P. 0.26 %.	1 cm ³ /L
RFZ	Ácidos Fúlvicos 14 %, 9-β-Dextroribofuranosil zeatina (citocina) 1500 ppm, nitrógeno (N) 10 %, fósforo (P ₂ O ₅) 3 %, potasio (K ₂ O), 17 % y zinc (Zn) 0.11 %.	1 cm ³ /L

Los tratamientos con bioestimulantes presentaron un menor número de hojas, lo que sugiere un efecto regulador del crecimiento más orientado a la calidad fisiológica que a la cantidad de órganos emitidos. Este comportamiento ha sido reportado para bioestimulantes a base de extractos de algas marinas y compuestos hormonales (Khan et al., 2009; Roupael y Colla, 2020). El índice de clorofila fue mayor en los tratamientos Control, Ixchel y RFZ, lo que coincide con reportes que indican que los extractos de algas marinas y los bioestimulantes ricos en citoquininas pueden estimular la síntesis de clorofila y retrasar la senescencia foliar, aun cuando no se incrementa el número de hojas (Khan et al., 2009; Bulgari et al., 2015).

Cuadro 2

Crecimiento e índice de clorofila en el cultivo de maíz afectado por el control de malezas y la aplicación de bioestimulantes.

Tratamiento	Altura (cm)	Tasa de crecimiento (cm)	Número de hojas	Índice de clorofila (IC)
Control de malezas				
Químico	104.35 a†	49.32 a	7.40 a	44.74 a
Cultural	164.90 b	89.85 b	9.10 b	54.60 b
Bioestimulante				
Control	133.90 b	71.35	9.05 a	49.71 a
Humiforte	129.25 b	65.40	7.40 b	46.87 b
Ixchel	134.10 b	70.30	8.25 b	50.18 a
RFZ	141.25 a	71.70	8.30 b	51.92 a
Significancia				
Control de malezas (CM)	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Bioestimulante (B)	0.013	0.334	< 0.001	0.044
CM × B	0.624	0.604	0.169	0.257

†Medias seguidas por la misma letra, significa igualdad según la prueba de Tukey.

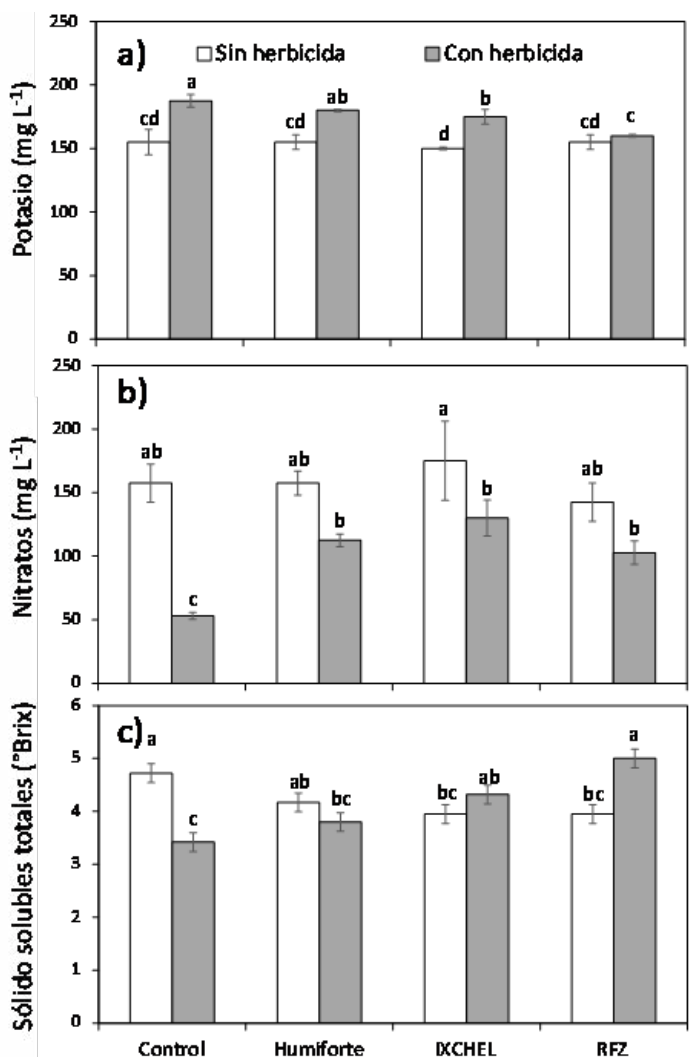
La concentración de nitratos fue significativamente mayor bajo control cultural de malezas que bajo control químico ($p < 0.001$), lo que indica una mayor absorción y disponibilidad de nitrógeno cuando se reduce la competencia interespecífica. La aplicación de bioestimulantes también influyó en la concentración de nitratos, destacando Ixchel y Humiforte, que superaron al tratamiento Control. Respecto al potasio, el control químico de malezas presentó mayores concentraciones en el tallo que el control cultural ($p < 0.001$), lo que puede explicarse por una menor demanda asociada a un crecimiento vegetativo más limitado, favoreciendo su acumulación en tejidos de reserva.

A nivel de bioestimulantes, el tratamiento Control presentó la mayor concentración de potasio, mientras que RFZ mostró los valores más bajos, lo que sugiere una mayor movilización interna del K en presencia de bioestimulantes. La interacción significativa entre el control de malezas y la aplicación de bioestimulantes para las variables nutrimentales con-

firma que la respuesta fisiológica del maíz depende de la combinación específica de ambos factores, lo que refuerza el enfoque del estudio y la necesidad de evaluar la bioestimulación dentro de un contexto de manejo agronómico integral, tal como se planteó desde la Introducción.

Figura 1

Efecto interactivo del control químico de malezas y la aplicación de bioestimulantes en planta de maíz (CM×B), sobre la concentración de potasio (a), nitratos (b) y sólidos solubles (c) en el extracto celular del tallo.



Conclusión

Los resultados indican que el control cultural de malezas fue el principal factor que determinó el crecimiento vegetativo y el estado fisiológico del maíz en etapas tempranas, al favorecer una mayor altura de planta, emisión foliar, contenido de clorofila y disponibilidad de nitrógeno. La aplicación de bioestimulantes mostró efectos complementarios y dependientes del manejo de malezas, destacando RFZ por su influencia en la altura de planta y la modulación del estado nutricional. En conjunto, la biostimulación no sustituyó el manejo agronómico, pero contribuyó a optimizar la respuesta fisiológica del cultivo cuando se integró a un sistema adecuado de control de malezas.

Referencias

- Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P., & Ferrante, A. (2015). Biostimulants and crop responses: A review. *Biological Agriculture & Horticulture*, 31(1), 1–17. <https://doi.org/10.1080/01448765.2014.964649>
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1–2), 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., Critchley, A. T., Craigie, J. S., Norrie, J., & Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28, 386–399. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>
- Muchow, R. C., & Sinclair, T. R. (1994). Nitrogen response of leaf photosynthesis and canopy radiation use efficiency in field-grown maize and sorghum. *Crop Science*, 34(3), 721–727. <https://doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183X003400030022x>
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>

- Swanton, C. J., Mahoney, K. J., Chandler, K., & Gulden, R. H. (2008). Integrated weed management: Knowledge-based weed management systems. *Weed Science*, 56(1), 168–172. <https://doi.org/10.1614/WS-07-126.1>
- Teasdale, J. R. (1996). Contribution of cover crops to weed management in sustainable agricultural systems. *Journal of Production Agriculture*, 9(4), 475–479. <https://doi.org/10.2134/jpa1996.0475>.
- Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). Academic Press.
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2001). *Principles of plant nutrition* (5th ed.). Kluwer Academic Publishers.

