



## Impacto de bioestimulantes y ácido húmico en el rendimiento del maíz híbrido (*Zea mays* L.): Evidencias desde el Valle de Ica, Perú

### Impact of biostimulants and humic acid on the yield of hybrid maize (*Zea mays* L.): Evidence from the Ica Valley, Peru

Juan Saldivar-Villarroel <sup>a,\*</sup>; Raymunda Veronica Cruz-Martinez <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cañete, Jr. San Agustín 124, San Vicente de Cañete Lima. Perú.

<sup>b</sup> Escuela de Ingeniería Química, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Av. Los Maestros s/n, Ciudad Universitario, Ica, Perú.

\* Autor corresponsal: Juan. Saldivar Villarroel [ [jsaldivar@undc.edu.pe](mailto:jsaldivar@undc.edu.pe) | <https://orcid.org/0000-0001-6348-2201> ]  
Raymunda. Cruz Martinez [ [veronicacruz050178@gmail.com](mailto:veronicacruz050178@gmail.com) | <https://orcid.org/0000-0001-9559-5892> ]

#### Resumen

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, y su rendimiento está influenciado por las condiciones edafoclimáticas y el manejo agronómico. En el valle de Ica, Perú, la producción de maíz enfrenta desafíos como la baja fertilidad del suelo y la escasez de agua, lo que resalta la necesidad de alternativas sostenibles para mejorar la productividad. Los bioestimulantes y los ácidos húmicos han surgido como herramientas prometedoras para incrementar la eficiencia en el uso de nutrientes y mejorar la tolerancia a condiciones de estrés. Este artículo de revisión examina sistemáticamente el impacto de diferentes dosis y combinaciones de bioestimulantes y ácidos húmicos en el rendimiento del maíz híbrido en la zona media del valle de Ica. Se analizan más de 25 estudios publicados en las últimas dos décadas, sintetizando la evidencia científica sobre los efectos de estos insumos en el crecimiento vegetativo, la absorción de nutrientes y el rendimiento de grano. Los resultados indican que la aplicación de bioestimulantes y ácidos húmicos puede aumentar significativamente el rendimiento del maíz, con incrementos de hasta un 30% bajo condiciones de campo. Sin embargo, se identifican desafíos, como la variabilidad en la respuesta del cultivo y la falta de estandarización en las dosis recomendadas. Finalmente, se discuten las implicaciones agronómicas y económicas de estas tecnologías en sistemas agrícolas sostenibles, proponiendo futuras líneas de investigación para optimizar su uso en diferentes contextos agroecológicos.

**Palabras clave:** bioestimulante; ácido húmico; rendimiento del maíz; fertilidad del suelo; estrés abiótico; manejo agronomico.

#### Abstract

Maize (*Zea mays* L.) is one of the most important crops worldwide, and its yield is influenced by edaphoclimatic conditions and agronomic management. In the Ica Valley, Peru, maize production faces challenges such as low soil fertility and water scarcity, highlighting the need for sustainable alternatives to improve productivity. Biostimulants and humic acids have emerged as promising tools to increase nutrient use efficiency and enhance tolerance to stress conditions. This review systematically examines the impact of different doses and combinations of biostimulants and humic acids on hybrid maize yield in the mid-region of the Ica Valley. More than 25 studies published over the last two decades are analyzed, synthesizing scientific evidence on the effects of these inputs on vegetative growth, nutrient uptake, and grain yield. The results indicate that the application of biostimulants and humic acids can significantly increase maize yield, with gains of up to 30% under field conditions. However, challenges such as variability in crop response and the lack of standardization in recommended doses are identified. Finally, the agronomic and economic implications of these technologies in sustainable farming systems are discussed, proposing future research lines to optimize their use in diverse agroecological contexts.

**Keywords:** biostimulants; humic acids; maize yield; soil fertility; abiotic stress; agronomic management.



## 1. Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más importantes y ampliamente cultivados en el mundo, desempeñando un papel crucial en la seguridad alimentaria global y en la economía de muchos países en vías de desarrollo. Este cereal, originario de América, se ha expandido a nivel mundial debido a su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones agroecológicas, lo que le ha permitido convertirse en uno de los principales cultivos básicos, junto con el trigo y el arroz (Shiferaw et al., 2011). En regiones de América Latina, como el valle de Ica en Perú, el maíz sigue siendo un cultivo fundamental tanto para la seguridad alimentaria como para el sustento económico de pequeños agricultores. Este grano desempeña un papel clave en la cultura agrícola tradicional, además de ser un recurso vital para las economías locales (Guzzon et al., 2021). A pesar de la importancia del maíz como cultivo esencial para la seguridad alimentaria en América Latina, la productividad se ve afectada por problemas como la baja fertilidad del suelo y la disponibilidad limitada de agua, especialmente en las regiones rurales donde los agricultores dependen de este cultivo para su sustento (Feleke et al., 2023).

El valle de Ica es una de las principales regiones productoras de maíz en el Perú, caracterizada por suelos arenosos y un clima semiárido que presenta condiciones difíciles para la agricultura. Las limitaciones edafoclimáticas, junto con los efectos del cambio climático, han generado una reducción progresiva en la productividad agrícola, lo que ha obligado a los productores a buscar alternativas sostenibles que permitan mejorar el rendimiento de sus cultivos (Panuccio et al., 2014). A nivel global, la agricultura intensiva ha dado lugar a la degradación del suelo, la disminución de la biodiversidad y una mayor dependencia de insumos químicos, como los fertilizantes y pesticidas sintéticos, los cuales, aunque efectivos a corto plazo, han mostrado tener consecuencias negativas para el medio ambiente y la salud humana (Tilman et al., 2011).

## 2. Importancia del maíz y el reto de la sostenibilidad

El maíz ha sido históricamente un cultivo clave para la humanidad, utilizado no solo como alimento, sino también como forraje y materia prima para la industria, incluyendo la producción de biocombustibles (Ranum et al., 2014). La expansión agrícola, motivada por el crecimiento poblacional y la demanda de alimentos, ha generado grandes impactos en la

biodiversidad y en los servicios ecosistémicos, lo que refuerza la necesidad de prácticas sostenibles en la agricultura (Cassman et al., 2003). En este contexto, la necesidad de adoptar prácticas agrícolas más sostenibles es imperiosa para garantizar la seguridad alimentaria a largo plazo y mitigar los efectos negativos del cambio climático (Calvo et al., 2014).

Por ejemplo, investigaciones en la región han mostrado que las prácticas convencionales de riego, como el uso intensivo de aguas subterráneas para cultivos de exportación, han llevado a una disminución drástica en los niveles de agua subterránea, afectando la sostenibilidad agrícola (Domínguez et al., 2017). Asimismo, el manejo de los suelos arenosos en otras áreas como el norte de África ha puesto de relieve la importancia de prácticas de conservación de agua y suelo para enfrentar la degradación del suelo y mejorar la retención de agua y nutrientes, al igual que el contexto peruano (Diop et al., 2022).

Además, estudios sobre suelos arenosos indican que mejorar la estructura del suelo mediante técnicas como la aplicación de biochar y la gestión de materia orgánica puede aumentar la capacidad de retención de agua y la eficiencia de los fertilizantes en suelos de baja calidad, lo que podría ser relevante para los agricultores en Ica (Ding et al., 2022).

## 3. Bioestimulantes y ácidos húmicos: Una solución sostenible

Los bioestimulantes han sido propuestos como una alternativa sostenible para mejorar el rendimiento de los cultivos sin los efectos negativos asociados al uso de fertilizantes químicos. Se definen como sustancias o microorganismos que, cuando se aplican a las plantas o al suelo, promueven el crecimiento y desarrollo vegetal, mejorando la eficiencia en el uso de nutrientes, la tolerancia a condiciones de estrés abiótico y la calidad de los productos agrícolas (du Jardín, 2015; Yakhin et al., 2017). Entre los bioestimulantes más comunes se incluyen los extractos de algas, los aminoácidos, los ácidos húmicos, las proteínas hidrolizadas y los microorganismos beneficiosos, como las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (Bhattacharyya & Jha, 2012; Bulgari et al., 2019).

Los ácidos húmicos, por su parte, son compuestos orgánicos complejos derivados de la separación de la materia vegetal y animal. Se consideran una fracción importante de la materia orgánica del suelo y desempeñan un papel clave en la mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo. Entre sus principales funciones se encuentra la capacidad de mejorar la estructura del suelo, aumentar la capacidad

de retención de agua y promover la disponibilidad de nutrientes esenciales como el nitrógeno, fósforo y potasio (Canellas et al., 2015; Nardi et al., 2016; Olk et al., 2018).

#### 4. Efectos de los bioestimulantes y ácidos húmicos en el rendimiento del maíz

Diversos estudios han demostrado que la aplicación de bioestimulantes y ácidos húmicos puede tener un impacto significativo en el rendimiento del maíz y otros cultivos (Tabla 1, Figura 1). Se ha observado que estos productos no solo mejoran el crecimiento vegetativo de las plantas, sino también incrementan la absorción de nutrientes y mejoran la resistencia de las plantas a condiciones de estrés abiótico, como la sequía y la salinidad (Rouphaël et al., 2018). En el caso específico del maíz, estudios recientes han señalado que la aplicación de bioestimulantes, incluyendo extractos de algas marinas y ácidos húmicos, mejora la tolerancia al estrés y la productividad del maíz, especialmente en condiciones de suelos degradados" (Drobek et al., 2019).

La combinación de bioestimulantes y ácidos húmicos ha demostrado ser efectiva para mejorar tanto la eficiencia en el uso de nutrientes como la retención de agua en suelos arenosos, lo que se traduce en un

incremento del rendimiento del maíz en comparación con las prácticas tradicionales de fertilización (Zanin et al., 2019).

El uso de sustancias húmicas puede aumentar la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos, ya que su estructura química permite interacciones más eficientes con los componentes minerales y orgánicos del suelo, lo que favorece el desarrollo de las plantas (Un metaanálisis y revisión de la respuesta del crecimiento de las plantas a las sustancias húmicas: implicaciones prácticas para la agricultura (Rose et al., 2014).

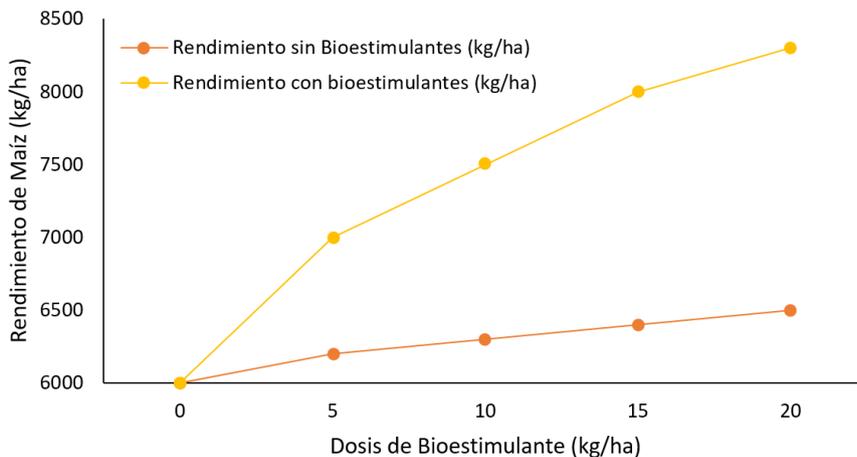
#### 5. Problemática en la producción de maíz en el valle de Ica

La producción de maíz en esta región se enfrenta a la disminución de la fertilidad del suelo, el aumento de la salinidad y el cambio climático (Tabla 2), lo que afecta negativamente el rendimiento de los cultivos (Panuccio et al., 2014; Mendoza et al., 2020). El uso intensivo de fertilizantes químicos ha sido la respuesta convencional para enfrentar estos problemas, pero ha conllevado a la degradación del suelo y la disminución de la calidad del agua, lo que compromete la sostenibilidad del sistema agrícola (Tilman et al., 2011; Foley et al., 2011).

**Tabla 1**

Impacto de los bioestimulantes y ácidos húmicos en el rendimiento del maíz híbrido

Dosis de Bioestimulantes (kg/ha)	Rendimiento sin Bioestimulantes (kg/ha)	Rendimiento con bioestimulantes (kg/ha)	Referencias
0	6000	6000	Canellas et al. (2015)
5	6200	7000	Nardi et al. (2016)
10	6300	7500	Drobek et al. (2019)
15	6400	8000	Zanin et al. (2019)
20	6500	8300	Olk et al. (2018)



**Figura 1.** Impacto de los bioestimulantes en el rendimiento de maíz. Adaptado de Canellas et al. (2015), Nardi et al. (2016), Drobek et al. (2019), Zanin et al. (2019), y Olk et al. (2018).

## 6. Alternativas sostenibles: Bioestimulantes y ácidos húmicos

Los bioestimulantes y ácidos húmicos se presentan como una alternativa viable para mejorar la salud del suelo y la productividad del maíz en esta región (Tabla 3). Los bioestimulantes comprenden una amplia gama de productos, como extractos de algas, aminoácidos y microorganismos beneficiosos que promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas mediante la activación de procesos fisiológicos específicos (du

Jardín, 2015; Yakhin et al., 2017).

Los ácidos húmicos, derivados de la revisión de materia orgánica, mejoran la estructura del suelo, aumentan la capacidad de retención de agua y promueven la disponibilidad de nutrientes esenciales como el nitrógeno, fósforo y potasio (Canellas et al., 2015; Nardi et al., 2016). Estos compuestos han demostrado ser efectivos en suelos pobres en materia orgánica y en condiciones de estrés abiótico, como los que se encuentran en el valle de Ica (Olk et al., 2018).

**Tabla 2**

Principales limitaciones del cultivo de maíz en el valle de Ica

Autor (Año)	Título	Limitaciones Identificadas
Deras Flores, H. et al. (2020)	Guía técnica: el cultivo de maíz	Falta de acceso a semillas de alto rendimiento y plagas que afectan el cultivo
Narro León, L. A. et al. (2022)	Tecnologías disponibles para incrementar la producción de maíz en Perú	Inadecuado manejo del agua y tecnologías deficientes en la producción
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) (2022)	Manejo fitosanitario: plagas del cultivo de maíz	Problemas fitosanitarios, como el gusano cogollero, que afectan significativamente la productividad del cultivo de maíz

Nota. Adaptado de Deras et al. (2020), Narro et al. (2002) y AGROSAVIA (2022).

**Tabla 3**

Desafíos en la implementación de bioestimulantes y ácidos húmicos

Desafío	Descripción	Referencias
Falta de regulación	No existe un marco regulatorio claro que estandarice la calidad y aplicación de bioestimulantes y ácidos húmicos, lo que genera incertidumbre	Rouphael & Colla (2020); Ykhin et al. (2017)
Variabilidad en la respuesta	La eficacia de estos compuestos puede variar significativamente según las condiciones del suelo, el clima y la microbiota presente	Halpern et al. (2015); Yakhin et al. (2017)
Disponibilidad limitada de productos de calidad	La falta de estándares puede llevar a la presencia en el mercado de productos de baja calidad que no ofrecen los beneficios esperados	Rouphael & Colla (2020); halpern et al. (2015)

Nota: Información adaptada de "Biostimulants in agriculture" por Y. Rouphael & G. Colla (2020), *Frontiers in Plant Science*, 11, 40; "Biostimulants in plant science: A global perspective" por O. I. Yakhin et al. (2017), *Frontiers in Plant Science*, 7, 2049; "The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake" por M. Halpern et al. (2015), *Advances in Agronomy*, 130, 141-174.

## 7. Conclusiones

El uso de bioestimulantes y ácidos húmicos ofrece una oportunidad valiosa para mejorar la sostenibilidad y productividad del cultivo de maíz en el valle de Ica, Perú. La evidencia sugiere que estos insumos pueden aumentar el rendimiento del maíz y mejorar la calidad del suelo, lo que es crucial en una región con condiciones edafoclimáticas limitantes. Sin embargo, es fundamental realizar más investigaciones para optimizar su uso y superar los desafíos asociados a su implementación a gran escala. La adopción de estas tecnologías podría contribuir significativamente a la sostenibilidad de la agricultura en el valle de Ica y en otras regiones con características similares.

## Referencias bibliográficas

- Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World J Microbiol Biotechnol*, 28, 1327–1350. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9>
- Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants Application in Horticultural Crops under Abiotic Stress Conditions. *Agronomy*, 9(6), 306. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060306>
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil* 383, 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 15-27. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>
- Cassman, K. G., Dobermann, A., Walters, D. T., & Yang, H. (2003). Meeting cereal demand while protecting natural resources and

- improving environmental quality. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 315–358. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.040202.122858>
- AGROSAVIA - Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (2022). Manejo fitosanitario: plagas del cultivo de maíz. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.infografia.2022.66>
- Deras, F. H. (2020). Guía técnica: el cultivo de maíz. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), & Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/11893>
- Ding, Z., Majrashi, M. A., Ghoneim, A. M., Ali, E. F., Eissa, M. A., & Shal, R. (2022). Irrigation and biochar effects on pearl millet and kinetics of ammonia volatilization from saline sandy soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(2), 1546–1558. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00753-0>
- Diop, M., Chirinda, N., Beniaich, A., El Gharous, M., & El Mejahed, K. (2022). Soil and water conservation in Africa: State of play and potential role in tackling soil degradation and building soil health in agricultural lands. *Sustainability*, 14(20), 13425. <https://doi.org/10.3390/su142013425>
- Domínguez Guzmán, C., Verzijl, A., & Zwartveen, M. (2017). Water footprints and ‘pozas’: Conversations about practices and knowledges of water efficiency. *Water*, 9(1), 16. <https://doi.org/10.3390/w9010016>
- Drobek, M., Frąc, M., & Cybulska, J. (2019). Plant biostimulants: Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress—A review. *Agronomy*, 9(6), 335. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060335>
- 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>
- Feleke, H. G., Savage, M. J., Fantaye, K. T., Rettie, F. M. (2023). The Role of Crop Management Practices and Adaptation Options to Minimize the Impact of Climate Change on Maize (*Zea mays* L.) Production for Ethiopia. *Atmosphere*, 14, 497. <https://doi.org/10.3390/atmos14030497>
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., ... & Zaks, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
- Guzzon, F., Arandia Ríos, L. W., Caviades, C., Céspedes, M., Chávez Cabrera, A., Muriel Figueroa, J., Medina Hoyos, A. E., Jara Calvo, T. W., Molnar, T. L., Narro León, L. A., et al. (2021). Conservation and Use of Latin American Maize Diversity: Pillar of Nutrition Security and Cultural Heritage of Humanity. *Agronomy*, 11, 172. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010172>
- Halpern, M., Bar-Tal, A., Ofek, M., Minz, D., Muller, T., & Yermiyahu, U. (2015). The Use of Biostimulants for Enhancing Nutrient Uptake. *Advances in Agronomy*, 130, 141-174; <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2014.10.001>
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Schiavon, M., & Ertani, A. (2016). Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*, 73(1), 18-23; <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0006>
- Narro León, L. A., Chávez, A., Jara Calvo, T. W., Narro León, T. P., Medina Hoyos, A. E., Cieza Ruiz, I., Díaz Chuquisuta, P., Alvarado Rodríguez, R., & Escobal Valencia, F. (2022). Tecnologías disponibles para incrementar la producción de maíz en Perú. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 14(1), 1-31. <https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2507>
- Nuss, E. T., & Tanumihardjo, S. A. (2010). Maize: A Paramount Staple Crop in the Context of Global Nutrition. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(4), 417-436. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00117.x>
- Olk, D. C., Dinnes, D. L., Rene Scoresby, J. et al. (2018). Humic products in agriculture: potential benefits and research challenges—a review. *J Soils Sediments*, 18, 2881–2891. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-1916-4>
- Panuccio, M. R., Jacobsen, S. E., Akhtar, S. S., & Muscolo, A. (2014). Effect of saline water on seed germination and early seedling growth of the halophyte quinoa. *AoB Plants*, 6, plu047. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plu047>
- Ranum, P., Peña-Rosas, J. P., & Garcia-Casal, M. N. (2014). Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1), 105-112. <https://doi.org/10.1111/nyas.12396>
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
- Rose, M. T., Patti, A. F., Little, K. R., Brown, A. L., Jackson, W. R., & Cavagnaro, T. R. (2014). A Meta-Analysis and Review of Plant-Growth Response to Humic Substances: Practical Implications for Agriculture. *Advances in Agronomy*, 124, 37-89; <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4>
- Shiferaw, B., Prasanna, B. M., Hellin, J. et al. (2011). Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food Sec.*, 3, 307–327 (2011). <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0140-5>
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20260-20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
- Yakhin, O. I., Lubyanov, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7, 2049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
- Zanin, L., Tomasi, N., Cesco, S., Varanini, Z., & Pinton, R. (2019). Humic substances contribute to plant iron nutrition acting as chelators and biostimulants. *Frontiers in Plant Science*, 10, 675. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00675>