

Efecto de los Bioestimulantes Radix© y Optimus© a Base de Microalgas sobre el Rendimiento del Cultivo de Caña de Azúcar

L.A. Sumuano-Barragán¹, F. Flores-García¹ y D.M. Garza-García²

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía.
Av. Francisco I. Madero S/N, Ex Hacienda el Canadá, 66050,
General Escobedo, N.L. México

²Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas
Av. Pedro de Alba s/n, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L. México. 66455

*Autor para correspondencia: misael.garzagr@uanl.edu.mx

Resumen

Las microalgas han emergido como una fuente prometedora de compuestos bioactivos con potencial en la agricultura sustentable gracias a su capacidad para sintetizar aminoácidos, polisacáridos, vitaminas, antioxidantes y fitorreguladores naturales. Se evaluó el efecto de dos bioestimulantes comerciales a base de microalgas (RADIX® y OPTIMUS®) desarrollados por GEXUS© sobre el rendimiento y calidad del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* var. LCP 85-384) bajo condiciones de campo en el municipio de Tala, Jalisco, México. El experimento se condujo durante la zafra 2023/2024 en un diseño comparativo con testigo sin tratamiento, aplicando tres dosis sucesivas de ambos productos por drench. Se evaluaron variables agronómicas como altura de planta, índice de desarrollo, rendimiento de caña (t ha^{-1}), contenido de fibra, sacarosa, °Brix, pureza del jugo y rendimiento de azúcar. Los resultados mostraron que el tratamiento con bioestimulantes incrementó la altura promedio ($206.77 \pm 4.91 \text{ cm}$) respecto al testigo ($185.77 \pm 10.52 \text{ cm}$), aunque sin diferencia estadística significativa ($p = 0.174$). Sin embargo, sí se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el peso por tallo ($6.47 \pm 0.47 \text{ kg}$ vs $3.97 \pm 0.27 \text{ kg}$), índice de desarrollo (0.65 ± 0.05 vs 0.40 ± 0.03) y rendimiento por hectárea ($121.42 \pm 10.67 \text{ t ha}^{-1}$ vs $63.56 \pm 4.36 \text{ t ha}^{-1}$), a favor del tratamiento con los bioestimulantes de GEXUS©. Estos resultados evidencian que la aplicación de bioestimulantes a base de microalgas promueve mejoras significativas en productividad sin comprometer la calidad del cultivo,

representando una estrategia que pueden ayudar a optimizar la producción cañera en regiones tropicales.

Palabras clave: Microalgas, bioestimulación, rendimiento, caña de azúcar

Abstract

Microalgae have emerged as a promising source of bioactive compounds with potential for sustainable agriculture, thanks to their ability to synthesize amino acids, polysaccharides, vitamins, antioxidants, and natural phytochemicals. This study evaluated the effect of two commercial microalgae-based biostimulants (RADIX® and OPTIMUS®), developed by GEXUS©, on the yield and quality of sugarcane (*Saccharum officinarum* var. LCP 85-384) under field conditions in Tala, Jalisco, Mexico. Three foliar applications were conducted during the 2023/2024 growing season. Agronomic variables such as plant height, development index, cane yield (t ha^{-1}), fiber content, sucrose, °Brix, juice purity and sugar yield were evaluated. Results showed that biostimulant application increased average plant height ($206.77 \pm 4.91 \text{ cm}$) compared to the control ($185.77 \pm 10.52 \text{ cm}$), although this difference was not statistically significant ($p = 0.174$). However, significant differences ($p < 0.05$) were observed in stalk weight ($6.47 \pm 0.47 \text{ kg}$ vs. $3.97 \pm 0.27 \text{ kg}$), development index (0.65 ± 0.05 vs. 0.40 ± 0.03), and cane yield ($121.42 \pm 10.67 \text{ t/ha}$ vs. $63.56 \pm 4.36 \text{ t/ha}$) in favor of treatment with GEXUS © biostimulants. These results demonstrate that microalgae-based biostimulants can significantly enhance productivity without negatively

affecting crop quality, representing an effective and sustainable strategy for improving sugarcane production in tropical agroecosystems.

Keywords: Microalgae, biostimulation, yield, sugarcane

Introducción

Uno de los mayores desafíos en la agricultura moderna es asegurar la sostenibilidad de los cultivos clave para la economía global, como la caña de azúcar. Según proyecciones recientes, para el 2035, la demanda de este cultivo podría superar la producción debido a factores como el cambio climático y la degradación de los suelos (Flack-Prain *et al.*, 2021). Esta problemática se agrava por el agotamiento de los recursos hídricos y la dependencia histórica de fertilizantes químicos, que han generado pérdida de biodiversidad edáfica, acidificación de los suelos y contaminación de acuíferos (Ganguly *et al.*, 2021). En este contexto, los bioestimulantes emergen como una solución prometedora para mejorar la eficiencia agronómica sin comprometer los ecosistemas.

Entre las alternativas más destacadas se encuentran los bioestimulantes derivados de microalgas, ricos en fitorreguladores, péptidos y nutrientes esenciales que estimulan el crecimiento radical, la resistencia a sequías y la absorción de nutrientes (Çakirsoy *et al.*, 2022). Su aplicación no solo incrementa los rendimientos, sino que también reduce la huella ambiental de la agricultura intensiva.

En países como México, Brasil e India, la caña de azúcar es un cultivo estratégico para la producción de azúcar, etanol y energía renovable (López-Ortega *et al.*, 2021). Sin embargo, enfrenta presiones como plagas emergentes, estrés térmico y suelos agotados. En este estudio se evaluó el efecto de los bioestimulantes RADIX® y OPTIMUS®, desarrollados por GEXUS®, pioneros en biotecnología de microalgas, en plantaciones de caña del estado de Jalisco, México (Miranda *et al.*, 2024). El objetivo fue determinar su impacto en variables de interés agronómicas, proponiendo así una alternativa viable para una industria azucarera más sostenible.

Material y Métodos

Localización

El presente estudio se llevó a cabo en el Ejido Pequeña Propiedad Tala, en el Potrero San Lorenzo, ubicado en el municipio de Tala, Jalisco, México. Esta región presenta un clima cálido subhúmedo, caracterizado por lluvias en verano, altas temperaturas durante los meses de abril a junio, y una marcada estacionalidad en las precipitaciones.

El ensayo se realizó durante el ciclo 4 Resoca-2 correspondiente a la zafra 2023/2024. La fecha de aplicación de tratamientos fue el 29 de marzo de 2023, con una superficie tratada de 1 hectárea.

La cosecha se efectuó el 22 de noviembre del 2023.

Datos del cultivo

El ensayo se llevó a cabo en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) de la variedad LCP 85-384. La plantación presentó una distancia entre surcos de 1.80 metros y una longitud de surco de 175 metros. El diseño experimental incluyó 32 surcos por tratamiento.

Tratamientos

El tratamiento consistió en la aplicación de RADIX®, un bioestimulante a base de microalgas que promueve el crecimiento de raíces, protege contra fitopatógenos y activa microorganismos benéficos en la rizosfera, y OPTIMUS®, un bioestimulante de última generación formulado a base de microalgas y ácidos fúlvicos, que mejora las propiedades del suelo, optimiza la absorción y asimilación de nutrientes (Figura 1). Ambos productos son desarrollados por la empresa GEXUS® con una dosis recomendada de 1L/H aplicada vía drench (Tabla 1). El diseño de campo, mostrado en el croquis, consistió en la comparación entre el tratamiento de los productos de la empresa GEXUS® y un testigo (sin tratamiento) separados por un callejón de riego, cada uno con 32 surcos (Figura 2).



Figura 1. Aplicación del bioestimulante RADIX® vía drench.

32 surcos	Callejón de riego	32 surcos
Testigo		Tratamiento GEXUS
Camino a las bodegas		

Figura 2. Croquis de la distribución de los tratamientos en el cultivo de caña de azúcar.

Diseño experimental y toma de datos

La evaluación se llevó a cabo mediante un muestreo en tres sitios de 10 metros dentro de cada tratamiento, en los cuales se seleccionaron tallos de manera aleatoria con el fin de evitar sesgos en la recolección de datos. En cada sitio, los tallos fueron pesados para estimar el rendimiento por unidad de superficie. La altura de las plantas se midió manualmente utilizando una cinta métrica estándar.

Evaluación de variables agronómicas

En el cultivo de caña de azúcar se evaluaron diversas variables agronómicas para determinar el efecto de los tratamientos aplicados. Estas incluyeron la altura promedio de los tallos (expresada en centímetros) y el índice de desarrollo, calculado como el producto del número de tallos por la altura media, dividido entre 100. Asimismo, se estimó el rendimiento de caña en toneladas por hectárea, a partir del peso de los tallos muestreados. Otras variables consideradas fueron el porcentaje de humedad en hoja, el contenido de azúcares reductores en el tallo y el rendimiento en azúcar, expresado como el porcentaje de recuperación. Además, se determinó el rendimiento de azúcar por hectárea, el contenido de fibra en el tallo (porcentaje), la concentración de sacarosa en el jugo de caña (porcentaje), °Brix"del jugo y la pureza del jugo, calculada como la relación entre la sacarosa y los sólidos solubles totales.

Tabla 1. Número de aplicaciones de los bioestimulantes RADIX® y OPTMUS®.

Aplicación	Producto	Dosis/ha	Fecha	Modo de aplicación
1ra	RADIX®	1 L	29-mar-23	Drench en 200 L de agua
	OPTMUS®	2 L		
2da	RADIX®	1 L	30-jun-23	Drench en 200 L de agua
	OPTMUS®	1 L		
3ra	RADIX®	1 L	29-sep-23	Drench en 200 L de agua
	OPTMUS®	1 L		

Drench: Método de aplicación agrícola que consiste en administrar una solución líquida directamente al suelo, en la zona radicular de la planta, con el propósito de facilitar la absorción de nutrientes, bioestimulantes o productos fitosanitarios a través de las raíces. Tabla 2. Variables agronómicas de la caña de azúcar a partir de la aplicación de RADIX® y OPTMUS®.

Análisis estadístico

Los datos recolectados fueron procesados y analizados utilizando el software R (versión 4.3.1). Se aplicó estadística descriptiva para calcular la media y el error estándar ($\pm$ EE) de cada variable evaluada en ambos tratamientos. Para comparar los efectos del tratamiento con bioestimulantes respecto al testigo, se empleó la prueba t de Student para muestras independientes, considerando una varianza desigual entre grupos y un nivel de significancia del 5% ($p < 0.05$). Las variables con diferencias significativas fueron identificadas con letras distintas (“a” y “b”) para facilitar su interpretación en las tablas.

Resultados y discusión

Los resultados presentados en la Tabla 2 muestran el impacto en el desarrollo agronómico y el rendimiento de caña de azúcar a partir de la aplicación de los bioestimulantes a base de microalgas de GEXUS© en comparación con el tratamiento testigo (sin aplicación de bioestimulantes).

Parámetros agronómicos

Se establecieron como métricas clave para evaluar el desempeño del cultivo la altura promedio de la planta, el índice de desarrollo, el rendimiento estimado en toneladas de caña por hectárea y los parámetros de calidad como porcentaje de fibra, sacarosa, °Brix, pureza, azúcares reductores y rendimiento de azúcar por hectárea. En cuanto al desarrollo de la planta, el tratamiento con los bioestimulantes promovió un

incremento notable en la altura promedio de las plantas, registrando 206.76 cm frente a los 185.76 cm del testigo, lo que representa un aumento del 11.3%. De manera similar, el índice de desarrollo mostró un incremento significativo de 69.71 en el tratamiento contra 54.62 en el testigo, indicando una mayor biomasa aérea por unidad de superficie.

Rendimiento teórico de caña y azúcar

Respecto al rendimiento de caña por hectárea, el tratamiento con bioestimulantes alcanzó 121.25 t ha⁻¹, prácticamente duplicando el rendimiento del testigo que fue de 64.16 t ha⁻¹, es decir, un incremento del 89%. Este notable aumento sugiere que los bioestimulantes a base de microalgas no solo favorece el crecimiento vegetativo, sino también la acumulación de biomasa comercialmente relevante (Gonçalves, 2021).

Calidad de la caña

En los parámetros de calidad de caña, se observó una ligera disminución en el contenido de humedad (72.80% en el tratamiento vs 79.20% en testigo) y fibra (11.70% frente a 12.20%), lo cual es positivo para el procesamiento industrial de la caña, dado que facilita la extracción de jugo y optimiza el rendimiento en fábrica.

La concentración de sacarosa fue ligeramente mayor en el tratamiento con bioestimulantes (14.32%) frente al testigo (13.67%). Aunque se esperaba un incre-

Tabla 2. Variables agronómicas de la caña de azúcar a partir de la aplicación de RADIX© y OPTMUS©.

Tratamiento	Rendimiento de caña (t ha ⁻¹)	Rendimiento de azúcar (t ha ⁻¹)	RAT (%)	Humedad (%)	Fibra (%)	Sacarosa (%)	°Brix (%)	Pureza (%)
Testigo	64.16 $\pm$ 4.36	7.96 $\pm$ 0.55	12.41	79.20	12.20	14.32	16.69	85.83
GEXUS©	121.25 $\pm$ 10.67	14.08 $\pm$ 1.24	11.61	72.80	11.70	13.67	16.37	83.47

mento más marcado, esta diferencia se compensa con el notable aumento en el volumen de caña producido. Adicionalmente, los "Brix" (16.37% en el tratamiento vs 16.69% en testigo) y la pureza del jugo (83.47% frente a 85.83%) se mantuvieron en rangos aceptables para la industria azucarera, sin afectaciones adversas relevantes.

Un aspecto relevante es el contenido de azúcares reductores en el tallo, siendo 0.261 en el tratamiento frente a 0.240 en el testigo. Aunque la diferencia es ligera, esta tendencia es positiva para la calidad de la caña en términos de eficiencia en la recuperación de sacarosa.

En cuanto al rendimiento de azúcar, se observaron resultados contundentes: el tratamiento con GEXUS® logró 121.25 t ha⁻¹, generando 14.08 toneladas de azúcar/ha, mientras que el testigo apenas alcanzó 7.96 toneladas de azúcar/ha, lo que representa un incremento del 77%.

El análisis estadístico descrito en la tabla 3 reveló que el tratamiento con bioestimulantes a base de microalgas presentó diferencias significativamente superiores ($p < 0.05$) en variables clave como el peso por

tallo, el índice de desarrollo y el rendimiento por hectárea en comparación con el testigo. Estas diferencias reflejan un impacto fisiológico positivo del tratamiento en la acumulación de biomasa útil y productividad industrial. Estudios recientes han reportado resultados similares, Tritean *et al.* (2025) demostraron que extractos de *Chlorella sorokiniana* incrementaron significativamente parámetros fisiológicos en cultivos hortícolas; El-Zaidy *et al.* (2024) observaron una mejora significativa en la productividad y calidad de caña de azúcar con aplicaciones de *Spirulina*.

Estos resultados evidencian que la aplicación de los bioestimulantes a base de microalgas de GEXUS® contribuye significativamente al aumento del rendimiento y productividad de caña de azúcar sin afectar de manera negativa los parámetros de calidad industrial. El incremento en biomasa, rendimiento de caña y azúcar podría estar relacionado con la mejora en la actividad fisiológica de las plantas, promovida por los metabolitos activos de las microalgas, que estimulan procesos como la fotosíntesis, el desarrollo radicular y la eficiencia en la asimilación de nutrientes (Gamma *et al.*, 2025; EL Mernissi, & EL Arroussi, 2025).

Tabla 3. Diferencias estadísticas entre las variables agronómicas de la caña de azúcar a partir de la aplicación de RADIX® y OPTMUS®.

Variable	Testigo (media ± EE)	Letra	GEXUS® (media ± EE)	Letra
Altura (cm)	185.77 ± 10.52	a	206.77 ± 4.91	a
Diámetro (cm)	1.74 ± 0.12	a	1.99 ± 0.03	a
Población	582.33 ± 56.64	a	675.00 ± 23.16	a
Peso 10 tallos (kg)	29.12 ± 2.83	a	33.75 ± 1.16	a
Peso por tallo (kg)	3.97 ± 0.27	b	6.47 ± 0.47	a
Índice de desarrollo	0.40 ± 0.03	b	0.65 ± 0.05	a
Rendimiento (t/ha)	63.56 ± 4.36	b	121.42 ± 10.67	a

Conclusiones

Los bioestimulantes a base de microalgas de GEXUS®, demostraron ser altamente efectivos para mejorar el desarrollo, el rendimiento de caña y el rendimiento teórico de azúcar en caña de azúcar de la variedad LCP 85-384.

Los incrementos obtenidos en la producción de biomasa y azúcar, junto con el mantenimiento de la calidad industrial de la caña, posicionan a los bioestimulantes de GEXUS® como una herramienta viable para optimizar la rentabilidad de los sistemas de producción cañera y abren nuevas oportunidades para su implementación en programas de manejo agrícola sustentable.

Referencias

- Flack-Prain, S., Shi, L., Zhu, P., Rocha, H. R., Cabral, O., Hu, S., & Williams, M. (2021). The impact of climate change and climate extremes on sugarcane production. *Global Change Biology. Bioenergy*, 13(3), 408–424. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12797>
- Ganguly, R.K., Mukherjee, A., Chakraborty, S.K., & Verma, J.P. (2021). Impact of agrochemical application in sustainable agriculture. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering* (pp. 15–24). Elsevier.
- Çakirsoy, I., Miyamoto, T., & Ohtake, N. (2022). Physiology of microalgae and their application to sustainable agriculture: A mini-review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1005991. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1005991>
- López-Ortega, M.G., Guadalajara, Y., Junqueira, T.L., Sampaio, I.L. M., Bonomi, A., & Sánchez, A. (2021). Sustainability analysis of bioethanol production in Mexico by a retrofitted sugarcane industry based on the Brazilian expertise. *Energy (Oxford, England)*, 232 (121056), 121056. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121056>
- Miranda, A.M., Hernandez-Tenorio, F., Villalta, F., Vargas, G.J., & Sáez, A.A. (2024). Advances in the development of biofertilizers and biostimulants from microalgae. *Biology*, 13(3), 199. <https://doi.org/10.3390/biology13030199>
- Gonçalves, A.L. (2021). The use of microalgae and Cyanobacteria in the improvement of agricultural practices: A review on their biofertilising, biostimulating and biopesticide roles. *Applied Sciences (Basel, Switzerland)*, 11(2), 871. <https://doi.org/10.3390/app11020871>
- Gama, R.C.N. da, Castro, J. de S., Marangon, B.B., de Jesus Junior, M.M., Ribeiro, V.J., Silva, J. da, & Calijuri, M.L. (2025). Microalgae bioinputs as disruptive technology for a sustainable agriculture: A systematic and bibliometric review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(2), 116034. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.116034>
- EL Mernissi, N., & EL Arroussi, H. (2025). Biofertilizers, soil conditioners, and biostimulants from microalgae. In *Algal Bioreactors* (pp. 593–602). Elsevier.
- Titrean, N. Popa, D.G., Georgescu, F., & Lupu, C. (2025). SL-6 Mimic Is a Biostimulant for *Chlorella sorokiniana* and Enhances the Plant Biostimulant Effect of Microalgal Extract. *Plants*, 14(7), 1010. <https://doi.org/10.3390/plants14071010>
- El-Zaidy, M., Ghallab, M., Bukhari, N., & Salem, E. A. (2024). Influence of Spirulina Extract on Physiological, Qualitative, and Productive Traits of Four Sugarcane Genotypes. *Agronomy*, 14(7), 1594. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071594>
- Alvarez, A.L., Weyers, S.L., Goemann, H.M., Peyton, B.M., & Gardner, R.D. (2021). Microalgae, soil and plants: A critical review of microalgae as renewable resources for agriculture. *Algal Research*, 54 (102200), 102200. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102200>