

BIOESTIMULANTES ORGÁNICOS COMO ALTERNATIVA ECOLÓGICA SOBRE EL DESARROLLO Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza sativa* L.)

Juan A. Torres-Rodriguez (SIC)¹, Marisol Rivero Herrada¹, Juan J. Reyes-Pérez¹, Carmen V. Marín Cuevas¹, Eduardo Gutiérrez Rivero² y Edgar O. Rueda-Puente³

RESUMEN

El uso de bioestimulantes ha sido una estrategia agrícola para mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos. Estos productos pueden ser una alternativa sostenible que se alinea con las prácticas agrícolas ecológicas, promoviendo el aumento de la productividad y minimizando el impacto ambiental. Este estudio consistió en evaluar el efecto de bioestimulantes sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de arroz. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial de tres bioestimulantes por tres dosis, más un tratamiento control. Las variables evaluadas fueron la altura de planta, números de macollos por planta, días para alcanzar la floración, número de granos por espiga, peso de 1000 granos y rendimiento. Los resultados muestran que los bioestimulantes estimularon el crecimiento y rendimiento del cultivo de arroz. Las variables altura de planta y número de macollos fueron beneficiadas con el tratamiento T3 (Isabión 1000 mL·ha⁻¹) seguido de T9 (Proboost 1000 mL·ha⁻¹); los mismos tratamientos promovieron un aumento en el número de granos por espiga y peso de 1000 granos. El T3 mostró el mayor rendimiento con un valor de 4472,19 kg·ha⁻¹. La aplicación del bioestimulante Isabión a una dosis de 1000 mL·ha⁻¹ mostró los mejores resultados en las variables evaluadas.

Palabras clave adicionales: Aminoácidos, nutrientes, producción orgánica, sostenibilidad

ABSTRACT

Organic biostimulants as an ecological alternative on the development and yield of rice cultivation (*Oryza sativa* L.)

The use of biostimulants has been an agricultural strategy to improve crop yield and quality. These products can be a sustainable alternative that aligns with ecological agricultural practices, promoting increased productivity and minimising environmental impact. The study consisted of evaluating the effect of biostimulants on rice crop development and yield. A randomised complete block design was used with a factorial arrangement of three biostimulants by three doses plus a control treatment. The variables evaluated were plant height, number of tillers per plant, number of days to flowering, number of grains per ear, weight of 1000 grains and yield. The results show that the biostimulants stimulated the growth and yield of the rice crop. The variables plant height and number of tillers were benefited with the treatments T3 (Isabión, 1000 mL·ha⁻¹) followed by T9 (Proboost, 1000 mL·ha⁻¹); the same treatments promoted an increase in the number of grains per spike and weight of 1000 grains. Treatment T3 showed the highest yield with a value of 4472.19 kg·ha⁻¹. The application of the biostimulant Isabión at a dose of 1000 mL·ha⁻¹ showed the best results in the variables evaluated.

Additional keywords: Amino acids, nutrients, organic agriculture, sustainability

Editor Asociado: Dra. Iris Pérez-Almeida

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es un alimento básico que representa el tercer cereal de importancia después del trigo y la cebada; su

producción mundial en 2022 se estimó en alrededor de 507,99 millones de toneladas (Pighin, 2019; FAO, 2023). En Ecuador, el arroz es uno de los cultivos que genera más ingresos en el sector agrícola y forma parte de la dieta ecuatoriana,

Recibido: Septiembre 11, 2024

Aceptado: Febrero 5, 2025

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Los Ríos, Ecuador. e-mail: jatorres@uteq.edu.ec; mrivero@uteq.edu.ec; jreyes@uteq.edu.ec; cmarin@uteq.edu.ec

²Estudiante de Posgrado Universidad de Guadalajara, Doctorado en Geografía y Ordenación Territorial, Sede Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades, Los Belenes. Zapopan, Jalisco, México. e-mail: eduardo.gutierrez9564@alumnos.udg.mx

³Universidad de Sonora, Departamento de Agricultura y Ganadería. Hermosillo, Sonora, México. e-mail: edgar.rueda@unison.mx (autor de correspondencia)

consumiéndose en el 2020 hasta los 50 kg por persona; la producción de arroz en este país en el 2021 fue de 873.000 toneladas (FAO, 2023). El 89 % de la producción de arroz se concentra en la provincia de Guayas (66 %) y Los Ríos (23 %) (Mendoza *et al.*, 2019).

El manejo incorrecto del cultivo de arroz ha provocado impacto negativo al medio ambiente, contribuyendo entre el 10 y 20 % de las emisiones de metano (gas de efecto invernadero) por la excesiva aplicación de agroquímicos (Zhang *et al.*, 2020). Además, ha provocado un aumento en la resistencia de plagas, contaminación del agua, pérdida de fertilidad del suelo y, como consecuencia, una disminución en el rendimiento del arroz por hectárea, afectando principalmente a los pequeños y medianos productores arroceros (Lombeida *et al.*, 2022; Torres *et al.*, 2024). Cada año, los agricultores enfrentan múltiples desafíos en el cultivo de arroz; entre ellos, factores climáticos como la temperatura, la radiación solar, las precipitaciones y el viento, los cuales influyen directamente en el rendimiento del cultivo al afectar el crecimiento de las plantas y los procesos fisiológicos relacionados con la formación del grano (Chaves y Gutiérrez, 2016; Mendoza *et al.*, 2019; Cardoso *et al.*, 2021).

Los bioestimulantes orgánicos son sustancias que potencian los procesos naturales de las plantas, mejorando la absorción y eficiencia de los nutrientes, la tolerancia al estrés abiótico, así como la calidad y el rendimiento de los cultivos (Buelvas, 2021; Cristofano *et al.*, 2021; García *et al.*, 2022). Están compuestos principalmente por aminoácidos producto de la hidrólisis química o enzimática de proteínas provenientes de

subproductos agroindustriales, tanto de origen vegetal (residuos de cultivos) como animal (colágeno, tejidos epiteliales). Su función principal es ayudar a las plantas a superar condiciones de estrés y de alta actividad metabólica, como la brotación, la floración y la fructificación, procesos clave para aumentar la producción (Yakhin *et al.*, 2017; Ali *et al.*, 2021).

El uso de bioestimulantes orgánicos constituye una alternativa sostenible para reducir el uso de productos químicos sintéticos y su impacto ambiental (Gustavo *et al.*, 2017). Este sistema de producción se centra en la utilización de productos de origen natural como fuentes de fertilización y bioestimulación, con el objetivo de mejorar la calidad y productividad de las especies cultivadas. Los bioestimulantes son una opción para aminorar la huella ambiental de la producción de los alimentos para una población creciente adoptándolos como tecnología e innovación para producir una agricultura orgánica, ecológica y sustentable (Benavides, 2021). Con base a lo anteriormente descrito, la presente investigación tuvo como finalidad evaluar diferentes bioestimulantes orgánicos como alternativa ecológica, para promover el desarrollo y rendimiento del cultivo de arroz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área experimental. La investigación se realizó en el lote arrocerero en el recinto Las Clarisas, provincia de Guayas, Ecuador, localizado en las coordenadas 01°08'23" S y 80°06'87" W. Las características edafoclimáticas del área experimental se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características edafoclimáticas del área experimental

Parámetros		Características
Suelo	Textura	Franco arcillosa
	pH	6,7
	Altitud	7 msnm
Clima	Precipitación	1587.5 mm·año ⁻¹
	Temperatura (med-max-min)	25,4 - 28,4 - 22,4 °C
	Humedad relativa (med-max-min)	78,0 - 86,2 - 69,6 %
	Heliofanía	1240,6 h luz·año ⁻¹

Estación meteorológica de INAMHI en Daule, Guayas, Ecuador. Año 2022.

Tratamientos y diseño experimental. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial de 3 bioestimulantes x 3 dosis + 1 control, con tres repeticiones. Los factores de estudios fueron los bioestimulantes Isabión,

Quantis y Proboost, y las dosis de 500, 750 y 1000 mL·ha⁻¹. El Cuadro 2 muestra los tres bioestimulantes en estudio, con su composición y las diferentes dosis que fueron evaluadas.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos

Producto	Composición general	Dosis (mL·ha ⁻¹)	Identificación
Isabión	Aminoácidos (58.2 %), N total (10.9 %); N org. (10 %), Solvente 20 %	500	T1
		750	T2
		1000	T3
Quantis	Materia orgánica (26 %), N org. (0,9 %), K ₂ O (9,3 %), Solvente (29 %)	500	T4
		750	T5
		1000	T6
Proboost	Aminoácidos (39 %), C org. (22 %), Ca, S, Mg, K, Bo (10 %); Solvente (29 %)	500	T7
		750	T8
		1000	T9
Control	SA (sin aplicación)	0	T10

El área total del ensayo fue del ensayo fue de 1.491 m², con 0,20 m entre plantas y 0,20 m entre hileras, y parcelas de 36 m² (6 x 6 m), con 1 m de distancia a ambos lados de cada una.

Manejo del experimento. Para la preparación del semillero se procedió a remojar la semilla de arroz por 24 horas, luego se retiró del agua y se dejó reposar por 24 horas más en oscuridad y a una temperatura de 25 °C ±2 para estimular la germinación de la semilla. Posteriormente, se ejecutó la siembra del semillero en camas de 1 m de ancho por 8 m de largo; el tiempo de semillero fue de 25 días hasta que las plantas estaban aptas para ser trasplantadas al sitio de experimentación. Con base a la preparación del suelo, se realizaron cuatro pases de fangueo con una máquina especializada (Fangueadora Niplo HL4030-3L HT) hasta que el terreno estuvo apto para que el cultivo, el cual se trasplantó manualmente a los 25 días desde la emergencia. Se colocaron cinco plántulas por punto.

Control de malezas, fertilización, control de insectos y de enfermedades. Para las malezas se realizó un control preemergente con herbicida

Pretilachlor (Rifit); y posteriormente a los 28 días después del trasplante (ddt) con los herbicidas Rinskor (Loyant) + Pretilachlor. La fertilización se realizó solo con los bioestimulantes estudiados de acuerdo con los tratamientos descritos en el Cuadro 2. La primera aplicación de los bioestimulantes se aplicó a los 12 días ddt, posteriormente hubo una segunda aplicación a los 35 ddt y una tercera a los 75 ddt. Para el control de insectos plaga se aplicó Engeo a los 12 ddt, Voliam Flexi a los 35 ddt, Curacron + Solaris a los 75 días y Engeo a los 100 ddt en grano lechoso. Para el manejo de enfermedades se aplicó Reflect a los 15 ddt. A los 35 ddt se aplicó Priori Ztra, y finalmente Amistar Top.

Variables evaluadas

Altura de planta. La altura de plantas se tomó a los 104 días después del trasplante utilizando una cinta métrica, considerando desde el nivel del suelo hasta el ápice de la hoja más joven. Se tomaron 10 plantas al azar por cada unidad experimental (parcela).

Número de macollos por planta. En la misma fecha se evaluaron diez plantas al azar dentro del

área útil de cada parcela experimental por tratamiento y se contó el número de macollos de las plantas seleccionadas, para luego obtener un promedio.

Inicio de floración, Número de granos por espiga, peso de 1000 granos y rendimiento. El día a la floración se evaluó considerando el número de días transcurridos desde la siembra hasta el momento en que el 50 % de las plantas de cada parcela experimental presentaron flores abiertas.

A los 120 días se seleccionaron las espigas de diez plantas seleccionadas dentro del área útil de cada parcela experimental por tratamiento y se contaron todos los granos de cada espiga posterior obteniéndose un valor promedio.

Con relación al número de granos por espiga, de cada parcela experimental se tomaron 1000 granos que estaban en buen estado (sin defectos) de diez plantas seleccionadas del área de parcela útil por parcela experimental y tratamiento. Fueron pesados en una balanza de precisión y se obtuvo su promedio.

La cosecha se realizó a los 120 días de establecido el cultivo con la ayuda de una maquinaria agrícola (mini cosechadora Mini Combine Harvester) por tratamiento. Se consideró la media del rendimiento obtenido en el área útil de cada parcela; luego, se calculó el rendimiento por hectárea ajustando 14 % de humedad del grano.

Beneficio de aplicación de bioestimulantes

Se calculó el beneficio relativo del uso de los productos expresado como la relación ingresos/egresos en base a los valores de rendimiento y los costos de cada producto, sin considerar los costos fijos. Se utilizó la fórmula $\text{Beneficio} = P \cdot (R_{\text{trat}} - R_{\text{test}}) / C$, donde P es el precio de venta del arroz; R_{trat} el rendimiento con el tratamiento; R_{test} el rendimiento del control y C el costo del producto.

Se consideró un precio del arroz de $0,30 \$ \cdot \text{kg}^{-1}$, y costos de \$ 16,50, \$ 14,50 y \$ 16,00 por litro para el Isabión, Quantis y Proboost, respectivamente.

Análisis estadístico. Los datos de las evaluaciones de las diferentes variables de respuesta fueron sometidos al análisis de varianza y se utilizó la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad. Previamente, se verificó la normalidad de los datos a través de la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de las varianzas

mediante la prueba de Bartlett. El procesamiento estadístico se efectuó utilizando el programa InfoStat versión 2020.

RESULTADOS

El análisis de varianza mostró que el arreglo factorial de los tratamientos no produjo efecto de interacción entre los factores de producto y dosis para las diferentes variables estudiadas

Efecto de los bioestimulantes orgánicos en los indicadores de crecimiento en la planta de arroz. En la variable altura de planta (Cuadro 3) se observa una marcada diferencia entre los tratamientos aplicados, mostrando significancia estadística ($p \leq 0,05$). Cuando se aplicó el T3: Isabión $1000 \text{ mL} \cdot \text{ha}^{-1}$ las plantas alcanzaron mayor altura con un promedio de 125,33 cm, estadísticamente igual al Quantis y Proboost en dosis altas y media de 1000 y 750 mL ha^{-1} , respectivamente; los cuales superaron en un 15 % al tratamiento control. Por su parte el T7, T1 y T4, a razón de $500 \text{ mL} \cdot \text{ha}^{-1}$ para cada uno de los bioestimulantes, se puede apreciar que fue la dosis menos efectiva en comparación de los otros rangos de dosis (Cuadro 3).

Número de macollos. Con relación al número de macollos, se obtuvo que el tratamiento T3: Isabión a dosis de $1000 \text{ mL} \cdot \text{ha}^{-1}$ las plantas de arroz resultaron ser las de mayor promedio de macollos (28,67), pero sin significancia estadística ($p \leq 0,05$) con los tratamientos T9 y T6. Sin embargo, en comparación con los tratamientos T4 (Quantis a $500 \text{ mL} \cdot \text{ha}^{-1}$) y el control fueron estadísticamente superiores ($p \leq 0,05$) en un 25 % (Cuadro 4).

Inicio de floración. Los valores medios para la variable inicio de floración se pueden apreciar en el Cuadro 5, donde las plantas del tratamiento control, demoraron nueve días más en iniciar el estado de floración en comparación del T9, sin diferencias significativas con el tratamiento T3.

En general, las interrelaciones mostraron que el bioestimulante Proboost a dosis de $1000 \text{ mL} \cdot \text{ha}^{-1}$ (65,33 días), inició de manera más temprana su estado de floración siendo estadísticamente similar ($p \leq 0,05$) a Isabión con dosis de $1000 \text{ mL} \cdot \text{ha}^{-1}$ (66,33 días); por su parte el tratamiento que demoró más días para iniciar su floración, fue el control con 74,33 días.

Cuadro 3. Altura de la planta de arroz en respuesta a la aplicación de bioestimulantes orgánicos en el cultivo de arroz

Tratamientos			
Bioestimulantes		Dosis (mL·ha ⁻¹)	Altura de planta (cm)
T1	Isabión	500	111,33 b
T2	Isabión	750	122,00 a
T3	Isabión	1000	125,33 a
T4	Quantis	500	110,67 b
T5	Quantis	750	119,33 a
T6	Quantis	1000	123,00 a
T7	Proboost	500	112,00 b
T8	Proboost	750	120,00 a
T9	Proboost	1000	123,33 a
T10	Control	Sin aplicación	102,00 c
Coeficiente de variación			1,96%

Medias sin letras comunes son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$)

Cuadro 4. Número de macollos por plantas en cada tratamiento en respuesta a la aplicación de bioestimulantes en el cultivo de arroz

Tratamientos			
Bioestimulantes		Dosis (mL·ha ⁻¹)	Número de macollos
T1	Isabión	500	21,67 cd
T2	Isabión	750	25,00 bc
T3	Isabión	1000	28,67 a
T4	Quantis	500	21,00 d
T5	Quantis	750	22,33 cd
T6	Quantis	1000	26,00 ab
T7	Proboost	500	22,00 cd
T8	Proboost	750	24,00 bc
T9	Proboost	1000	27,33 ab
T10	Control	Sin aplicación	21,00 d
Coeficiente de variación			4,96 %

Medias sin letras comunes son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$)

Cuadro 5. Días a la floración con la aplicación de bioestimulantes orgánicos en el cultivo de arroz

Tratamientos			
Bioestimulante		Dosis (mL·ha ⁻¹)	Días a floración
T1	Isabión	500	72,33 ab
T2	Isabión	750	71,00 ab
T3	Isabión	1000	66,33 cd
T4	Quantis	500	70,33 b
T5	Quantis	750	72,00 ab
T6	Quantis	1000	69,33 bc
T7	Proboost	500	71,33 ab
T8	Proboost	750	69,33 bc
T9	Proboost	1000	65,33 d
T10	Control	Sin aplicación	74,33 a
Coeficiente de variación			1,87 %

Medias sin letras comunes son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$)

Efecto de los bioestimulantes orgánicos en el rendimiento agrícola del cultivo de arroz.

Número de granos por espiga. En el Cuadro 6 se presentan los resultados del número de granos por espiga, resultando el T3 el que obtuvo mayor número de granos por espiga (139,67 granos), con diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) en comparación de aquellos tratamientos donde se aplicaron los

bioestimulantes evaluados a la dosis de $500 \text{ mL} \cdot \text{ha}^{-1}$ (T1, T4 y T7). Los resultados también muestran que los bioestimulantes en dosis de $1000 \text{ mL} \cdot \text{ha}^{-1}$ presentaron el mayor número de granos por espiga con excepción del T9. El tratamiento control mostró el valor más bajo en un 11 % ($p \leq 0,05$).

Cuadro 6. Número de granos por espiga en respuesta a la aplicación de bioestimulantes orgánicos en el cultivo de arroz

Tratamientos Bioestimulantes		Dosis ($\text{mL} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Número de granos
T1	Isabión	500	127,67 b
T2	Isabión	750	136,67 a
T3	Isabión	1000	139,67 a
T4	Quantis	500	127,00 b
T5	Quantis	750	137,00 a
T6	Quantis	1000	138,00 a
T7	Proboost	500	127,00 b
T8	Proboost	750	136,00 a
T9	Proboost	1000	136,67 a
T10	Control	Sin aplicación	124,67 b
Coeficiente de variación		1,08%	

Medias sin letras comunes son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$)

Peso de mil granos de arroz. En el Cuadro 7, los resultados para la variable peso de 1000 mil granos indican que con el T3 se obtuvo el mayor peso de 1000 granos con 31,33 g, y en igualdad estadística ($p > 0,05$) con los tratamientos T2 y T1,

los cuales contenían el mismo bioestimulante (Isabión). Por su parte el tratamiento T10 fue el que obtuvo el menor peso, siendo superado en un 19 % por el tratamiento más alto (T3) y con diferencia significativa ($p \leq 0,05$).

Cuadro 7. Peso de 1000 granos con la aplicación de bioestimulantes orgánicos en el cultivo del de arroz

Tratamientos Bioestimulantes		Dosis ($\text{mL} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Peso de 1000 granos (g)
T1	Isabión	500	29,33 abc
T2	Isabión	750	30,33 ab
T3	Isabión	1000	31,33 a
T4	Quantis	500	27,67 cd
T5	Quantis	750	28,33 bcd
T6	Quantis	1000	28,33 bcd
T7	Proboost	500	26,33 d
T8	Proboost	750	27,33 cd
T9	Proboost	1000	27,67 cd
T10	Control	Sin aplicación	26,00 d
Coeficiente de variación		3,02%	

Medias sin letras comunes son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$)

Rendimiento en el cultivo del de arroz con la aplicación de los bioestimulantes orgánicos. El

rendimiento del cultivo del arroz al 14 % de humedad del grano bajo el efecto de las

aplicaciones de los bioestimulantes orgánicos, se muestra en el Cuadro 8. El mayor rendimiento obtenido ($4472,19 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) correspondió al T3, siendo estadísticamente diferente al resto de los tratamientos ($p\leq 0,05$), incluyendo al T9 el cual

ocupó el segundo lugar con $3955,53 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Estos tratamientos fueron estadísticamente superiores a los demás, que mostraron rendimientos con valores entre $3740,68$ (T6) y $2869,60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en el control.

Cuadro 8. Rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) del cultivo de arroz en respuesta a la aplicación de bioestimulantes.

Tratamientos		Dosis (mL·ha ⁻¹)	Rendimiento (kg·ha ⁻¹)
Bioestimulantes			
T1	Isabión	500	3398,15 cd
T2	Isabión	750	3648,14 bc
T3	Isabión	1000	4472,19 a
T4	Quantis	500	3081,65 d
T5	Quantis	750	3278,70 cd
T6	Quantis	1000	3740,68 bc
T7	Proboost	500	3385,15 cd
T8	Proboost	750	3555,63 bc
T9	Proboost	1000	3955,53 b
T10	Control	Sin aplicación	2869,60 e
Coeficiente de variación		2,49 %	

Medias sin letras comunes son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p\leq 0,05$).

Beneficio relativo de la aplicación de bioestimulantes. Se aprecia que el T3 (Isabión, $1000 \text{ mL}\cdot\text{ha}^{-1}$) destacó sobre el resto de los tratamientos con un valor de 29,14. Le siguió el T9 (Proboost, $1000 \text{ mL}\cdot\text{ha}^{-1}$) con un valor de 20,36. Seguidamente se ubicaron los demás tratamientos con valores inferiores a 20, dentro de un rango de 19,33 a 8,77 en T7 (Proboost, 500

$\text{mL}\cdot\text{ha}^{-1}$) y T4 (Quantis, $500 \text{ mL}\cdot\text{ha}^{-1}$), respectivamente (Cuadro 9). Aunque, obviamente, estos valores no representan la ganancia absoluta cuyo cálculo requeriría la inclusión de todos los costos fijos involucrados en el manejo del cultivo y la mano de obra empleada para la aplicación del producto, sí sugieren cuál fue el beneficio relativo por el uso de cada bioestimulante orgánico.

Cuadro 9. Beneficio relativo de la aplicación de bioestimulantes orgánicos en el cultivo del arroz

Indicadores	Isabión				Quantis			Proboost	
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Rend. ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	3398,15	3648,14	4472,19	3081,65	3278,70	3740,68	3385,15	3555,63	3955,53
Ingreso ($\text{\$}\cdot\text{ha}^{-1}$)	1019,45	1094,44	1341,66	924,495	983,61	1122,20	1015,55	1066,69	1186,66
Costo ($\text{\$}\cdot\text{ha}^{-1}$)	8,25	12,38	16,50	7,25	10,88	14,50	8,00	10,88	16,00
Beneficio Rel.	19,22	18,87	29,14	8,77	11,28	18,02	19,33	18,91	20,36

Rend: rendimiento del arroz, Ingreso: ingreso por venta del arroz, Costo: precio del bioestimulante, Beneficio Rel: beneficio relativo por el uso del bioestimulante; Dosis: T1, T4 y T7 = $500 \text{ mL}\cdot\text{ha}^{-1}$; T2, T5 y T8 = $750 \text{ mL}\cdot\text{ha}^{-1}$; T3, T6 y T9 = $1000 \text{ mL}\cdot\text{ha}^{-1}$.

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que los bioestimulantes evaluados, en el presente estudio,

tuvieron un efecto positivo en el crecimiento y rendimiento del cultivo del arroz. La altura de planta con la aplicación de los tres bioestimulantes a diferentes dosis, arrojaron como resultado que el

bioestimulante Isabión en dosis de $1000 \text{ mL} \cdot \text{ha}^{-1}$ presentó una altura mayor $125,33 \text{ cm}$ con diferencias significativas respecto a los demás tratamientos. Los resultados de este estudio coinciden con lo reportado por Mulyatni *et al.* (2018), quienes encontraron que los bioestimulantes, en particular aquellos derivados de ácidos húmicos, promovieron un crecimiento significativo en cultivos de arroz de secano. En su investigación, se demostró que la aplicación de bioestimulantes incrementó la longitud y el peso seco de las raíces. Estos resultados refuerzan el papel clave de los bioestimulantes como una herramienta sostenible para optimizar la productividad agrícola.

Estos efectos pueden atribuirse a la capacidad de los bioestimulantes de mejorar la disponibilidad y absorción de nutrientes esenciales, así como de estimular procesos fisiológicos clave en la planta, tales como la síntesis de hormonas de crecimiento, incluyendo auxinas, giberelinas y citoquininas, que regulan el alargamiento celular y la división celular en los tejidos vegetales (Petropoulos, 2020; Franzoni *et al.*, 2022).

Estos resultados también concuerdan con Chávez *et al.* (2020), mencionan que los aminoácidos en las plantas están relacionados con los mecanismos de regulación de crecimiento y desarrollo, siendo la altura un indicador de la velocidad de crecimiento y que está determinado por la elongación del tallo al acumular en su interior los nutrientes producidos durante la fotosíntesis (González, 2019).

Los resultados obtenidos en el número de macollos mostraron que las plantas tratadas con Isabión a una dosis de $1000 \text{ mL} \cdot \text{ha}^{-1}$ presentaron un mayor número de macollos efectivos (28,67). Estos valores son similares a los reportados por Noreen *et al.* (2021), quienes registraron 25 macollos en su estudio, demostrando que los aminoácidos promueven el ahijamiento en las plantas. Efectos que pueden atribuirse a la capacidad de los aminoácidos presentes en los bioestimulantes para actuar como precursores en la síntesis de proteínas esenciales y como reguladores en el metabolismo vegetal, mejorando la división celular y el desarrollo de tejidos meristemáticos, factores clave en la formación de macollos (Sun *et al.*, 2024).

En el caso de los días a floración, los tratamientos T10, T5, T7 y T29 presentaron los valores más altos, aunque sin diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$). Sin embargo, es importante señalar que el control mostró numéricamente el menor número de días hasta la floración. Este resultado difiere de lo reportado por Velázquez *et al.* (2015) en su estudio en pimiento, donde no se observaron diferencias significativas en comparación con el control. Los resultados, de este estudio, concuerdan con los reportados en soya por Kocira (2019), quien indica que debido a la deficiencia nutricional que presenta una planta, se aceleran ciertas etapas fenológicas, especialmente aquellas relacionadas con la reproducción, como la floración, en un esfuerzo por perpetuar la especie.

En los resultados del número de granos por espiga, los tres bioestimulantes no presentaron diferencias estadísticas ($p > 0,05$) en las dosis de 1000 y $750 \text{ mL} \cdot \text{ha}^{-1}$. Sin embargo, todos los bioestimulantes superaron significativamente ($p \leq 0,05$) al tratamiento control. Estos resultados coinciden con los reportados por López *et al.* (2018), quienes encontraron que todos los tratamientos bioestimulantes evaluados superaron al control. Se ha demostrado que los bioestimulantes tienen un impacto positivo en el crecimiento, desarrollo y en los indicadores de producción de los cultivos (Reyes *et al.*, 2019).

El tratamiento de Isabión $1000 \text{ mL} \cdot \text{ha}^{-1}$ presentó el mayor peso de 1000 granos con $31,33 \text{ g}$, estos resultados son similares a los de Florez *et al.* (2021) quienes observaron que la aplicación de bioestimulantes incrementó el peso de 1000 granos hasta $30,00 \text{ g}$, indicando que los bioestimulantes estimulan el rendimiento agrícola en el cultivo de arroz.

Por su parte, el tratamiento T3 (Isabión $1000 \text{ mL} \cdot \text{ha}^{-1}$) obtuvo el mejor rendimiento con $4472,19 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, comprobando lo que menciona Ortiz *et al.* (2022), quienes reportaron que el uso de bioestimulantes incrementa el rendimiento en los cultivos. En su estudio con soya, lograron un rendimiento de $5,41 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ con el mejor tratamiento, además de observar beneficios en la protección contra enfermedades fitopatógenas como *Sclerotium oryzae* (Quintana y Gutiérrez, 2022). El aumento de los rendimientos puede estar asociado con la regulación positiva de la biosíntesis de fitohormonas de la planta que

mejoran la producción de biomasa y el rendimiento del cultivo, así como con cambios en la arquitectura de la raíz que estimularan la absorción de nutrientes (Franzoni *et al.*, 2022). Los bioestimulantes son fundamentales para disminuir el uso de productos químicos sintéticos en la agricultura, cuya aplicación excesiva ocasionan efectos negativos al medio ambiente y la salud humana (Torres *et al.*, 2022).

CONCLUSIONES

Los bioestimulantes orgánicos han demostrado ser una alternativa eficaz para optimizar el crecimiento y rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). En este estudio, los tratamientos T3 (Isabión, 1000 mL·ha⁻¹) y T9 (Proboost, 1000 mL·ha⁻¹) destacaron significativamente en las variables de crecimiento, como la altura de las plantas y el número de macollos, además de acelerar el tiempo necesario para alcanzar la floración. En relación con las variables de rendimiento, estos mismos tratamientos promovieron un mayor número de granos por espiga y un aumento en el peso de 1000 granos, siendo el T3 el tratamiento que alcanzó el rendimiento más alto, con 4472,19 kg·ha⁻¹. En el aspecto económico, el tratamiento T3 también presentó el mayor beneficio relativo. Estos resultados demuestran que el uso de bioestimulantes es una opción para mejorar la productividad del arroz, en sistemas agrícolas que buscan minimizar el impacto ambiental.

LITERATURA CITADA

1. Ali, O., A. Ramsubhag y J. Jayaraman, 2021. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. *Plants* 10(3): 531.
2. Benavides, A. 2021. Bioestimulantes agrícolas: importancia y definición. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Horticultura 1-12.
3. Buelvas, M. 2021. Importancia de los factores climáticos en el cultivo de arroz. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 6: 28-34.
4. Cardoso, R., R. Helder, H.D. Santos, V. Valderez y P. Matos. 2021. Morfología de semillas e plântulas de cultivares de arroz-vermelho morphology of seeds and seedling of red rice cultivars. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável* 11(1): 259-267.
5. Chaves, B. y S. Gutiérrez. 2016. Respuestas al estrés por calor en los cultivos. II. Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agronomía Mesoamericana* 28(1): 255.
6. Chávez Vergara, J., A. Torres García, E.A.E. Vera y D.E.Z. Pazmiño. 2020. Respuesta morfofisiológica de la raíz del arroz (*Oryza sativa* L.) Variedad SFL 11 en fase de semillero a la aplicación de cepa nativa de *Trichoderma* spp. y lixiviado de vermicompost bovino. *Revista de las Agrociencias* 23(2477-8982): 15-20.
7. Cristofano, F., C. El-Nakhel y Y. Rouphael. 2021. Biostimulant substances for sustainable agriculture: Origin, operating mechanisms and effects on Cucurbits, leafy greens, and nightshade vegetables species. *Biomolecules* 11(8): 1103.
8. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2023. Situación Alimentaria Mundial. <https://n9.cl/sa8cnh>.
9. Florez-Jalixto, M., D. Roldán-Acero, J. Omote-Sibina y A. Molleda-Ordoñez. 2021. Biofertilizers and biostimulants for agricultural and aquaculture use: Bioprocesses applied to organic by-products of the fishing industry. Universidad Nacional de Trujillo. 635-651
10. Franzoni, G., G. Cocetta, B. Prinsi, A. Ferrante y L. Espen. 2022. Biostimulants on crops: Their impact under abiotic stress conditions. *Horticulturae* 8(3): 189.
11. García-Sánchez, F.; S. Simón-Grao, V. Navarro-Pérez y M. Alfosea-Simón. 2022. Scientific Advances in Biostimulation Reported in the 5th Biostimulant World Congress. *Horticulturae* 8(7): 665.
12. González, I., A.F. Rodríguez y J.I. Sastoque. 2019. La Incidencia de la Precipitación y el Área Sembrada Frente a la Producción de Arroz. *El Conuco: (investigación, economía y sociedad)* 03: 1-15.
13. Gustavo-González, L.G., I. Paz, B. Martínez, M.C. Jiménez, J.A. Torres-Rodríguez y A. Falcón. 2017. Respuesta agronómica del

- cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum*, L) var. HA 3019 a la aplicación de quitosana. UTCiencia 2(2): 55-60.
14. Kocira, S. 2019. Effect of amino acid biostimulant on the yield and nutraceutical potential of soybean. Chilean Journal of Agricultural Research 79(1): 17-25.
 15. Lombeida García, E., R. Medina Litardo, M. Uvidia Vélez y Á. Pazmiño Pérez. 2022. Caracterización de un sistema de producción de arroz (*Oryza sativa* L.) en el cantón Babahoyo. Revista Científica y Tecnológica UPSE 9(2): 39-47.
 16. López-Hernández, M.B., C. López-Castañeda, J. Kohashi-Shibata, S. Miranda-Colín, E.J. Barrios-Gómez y C.G. Martínez-Rueda. 2018. Tolerancia a sequía y calor en arroz (*Oryza sativa*). Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 5(15): 373-385.
 17. Mendoza Avilés, H.E., Á.C. Loo Bruno y S.F. Vilema Escudero. 2019. El arroz y su importancia en los emprendimientos rurales de la agroindustria como mecanismo de desarrollo local de samborondón. Revista Universidad y Sociedad 11(1): 324-330.
 18. Mulyatni, S., R. Praptana y D. Santoso. 2018. The effect of biostimulant in root and population of phosphate solubilizing bacteria: A study case in upland rice. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Institute of Physics Publishing
 19. Noreen, A., K. Shabir, M. Kashif, A. Raza, N. Khalid y A. Manan. 2021. Effect of different chemicals in reducing fruit cracking and improving yield and quality in Pomegranate cv. Pearl Journal of Pure and Applied Agriculture 6(3).
 20. Ortiz, J., P. Ofelda, A. Leandris, P. Valencia, I. Valenzuela y J. Morales. 2022. La aplicación de bioestimulantes incrementa los componentes del rendimiento de frijol Pinto Bill Z en el sur de Sonora. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 13(2): 371-76.
 21. Petropoulos, S.A. 2020. Practical applications of plant biostimulants in greenhouse vegetable crop production. Agronomy 10 (10): 1569.
 22. Pighin, A. 2019. Contenido de minerales en arroces y productos industriales elaborados a base de arroz. Diaeta (B.Aires) 37(167): 30-40.
 23. Quintana, L. y S. Gutiérrez. 2022. Stem rot (*Sclerotium oryzae*) in rice crops on the southern region of Paraguay. Revista de Ciencia y Tecnología (38): 76-79.
 24. Reyes-Pérez, J., M. Pérez-Santo, D. Sariol-Sánchez, A. Enríquez-Acosta, E. Bermeo, C. Toledo *et al.* 2019. Respuesta agroproductiva del arroz var. INCA LP-7 a la aplicación de estiércol vacuno. Centro Agrícola 46(3): 39-48.
 25. Sun, W., M.H. Shahrajabian, Y. Kuang y N. Wang. 2024. Amino acids biostimulants and protein hydrolysates in agricultural sciences. Plants 13(2): 210.
 26. Torres-Rodriguez, J.A., J.J. Reyes-Pérez, E.E. Quiñones-Aguilar y L.G. Hernandez-Montiel. 2022. Actinomycete potential as biocontrol agent of phytopathogenic fungi: mechanisms, source, and applications. Plants 11(23): 3201.
 27. Torres-Rodriguez, J.A., J.J. Reyes-Pérez, M.S. Carranza-Patino, R.R. Gaibor-Fernández, T. Rivas-García y E.O. Rueda-Puente. 2024. Chitosan: Biocontrol agent of *Fusarium oxysporum* in tomato fruit (*Solanum lycopersicum* L.). Emirates Journal of Food and Agriculture 36: 1-9.
 28. Velázquez, J., A. Rosales, H. Rodríguez y R. Salas. 2015. Determinación de las etapas de inicio de macollamiento, inicio de primordio, floración y madurez en la planta de arroz con el sistema S.V. y R correlacionado con la sumatoria térmica. Agronomía Costarricense 39(2): 121-130.
 29. Yakhin, O.I., A.A. Lubyantsev, I.A. Yakhin y P.H. Brown. 2017. Biostimulants in plant science: a global perspective. Frontiers in Plant Science 7: 2049.
 30. Zhang, G., D. Wang y Y. Yu. 2020. Investigation into the effects of straw retention and nitrogen reduction on CH₄ and N₂O emissions from paddy fields in the lower Yangtze River Region, China. Sustainability 12(4): 1683.