






# Calidad fisiológica y crecimiento temprano de plántulas de maíz en función de dosis y tiempos de remojo de semillas en bioestimulante

## Physiological quality and early growth of maize seedlings as a function of doses and times of seed soaking in biostimulant

Jessica Cargua Chávez<sup>1</sup>, Karol Zurita Bravo<sup>1</sup>,  
Daniela Luzcando Delgado<sup>1</sup>, Galo Cedeño García<sup>2\*</sup>,  
y Freddy Mesías Gallo<sup>2</sup>

1 Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.  
2 Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calcuta, Ecuador.



**Citar como:** Cargua Chávez, J. et al. (2023). «Calidad fisiológica y crecimiento temprano de plántulas de maíz en función de dosis y tiempos de remojo de semillas en bioestimulante». *South Sustainability*, 4(1), e076.  
DOI: 10.21142/SS-0401-2023-e076

Artículo recibido: 10/3/2023  
Revisado por pares  
Artículo aceptado: 2/5/2023



©Los autores, 2023. Publicado por la Universidad Científica del Sur (Lima, Perú)

\*E-mail de correspondencia:  
gcedeno@espam.edu.ec

### RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo de gran importancia alimentaria, social y económica a nivel global. El objetivo del trabajo fue evaluar la calidad fisiológica y el crecimiento temprano de plántulas de maíz en función de dosis y tiempos de remojo de semillas en bioestimulante. Se evaluaron tratamientos factoriales de tres tiempos de remojo (8, 16 y 24 horas) y tres niveles de bioestimulante (2,5, 5,0 y 7,5 mL L<sup>-1</sup> de agua), más dos tratamientos testigos que fueron: 1) remojo en agua destilada estéril, y 2) semillas sin remojo. Se registró el índice de velocidad de germinación (IVG), índice de velocidad de emergencia (IVE), longitud radical (LR), longitud de planta (LP) y peso seco de planta (PSP). Los resultados mostraron que los tiempos de remojo de 16 y 24 horas fueron significativamente más efectivos ( $p < 0,05$ ) para acelerar la germinación de las semillas (IVG) y el crecimiento temprano de las plántulas, en relación con el tiempo de remojo de 8 horas. Independientemente del tiempo de remojo, la dosis del bioestimulante de 2,5 mL L<sup>-1</sup> de agua fue la que provocó un incremento significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) de la velocidad de germinación de las semillas (IVG) y emergencia de las plántulas (IVE), pero la dosis de 5,0 mL L<sup>-1</sup> fue más eficiente para lograr un mayor crecimiento temprano de las plántulas. La bioestimulación de la semilla vía remojo logró mayor IVG, IVE, LR, LP y PSP en relación con el remojo de semillas en agua y al tratamiento sin remojo. El remojo de semillas en agua aceleró en mayor medida la germinación y emergencia de las plántulas, con respecto al tratamiento sin remojo.

**Palabras clave:** *Zea mays*, bioestimulación de semillas, germinación, emergencia, crecimiento, calidad

### ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) is a food crop of great global social and economic importance. The aim of this research was to evaluate the physiological quality and early growth of maize seedlings based on doses and times of seed soaking in biostimulant. Factorial treatments of three soaking times (8, 16 and 24 hours) and three levels of biostimulant (2.5, 5.0 and 7.5 ml L<sup>-1</sup> of water) were evaluated, in addition to the following two control treatments: 1) soaking in sterile distilled water, and 2) seeds without soaking. The germination speed index (GSI), emergence speed index (ESI), root length (RL), plant length (PL) and plant dry weight (PDW) were recorded. The results showed that the soaking times of 16 and 24 hours were significantly ( $p < 0.05$ ) more effective in accelerating seed germination (GSI) and early seedling growth, compared to the soaking time of 8 hours. Regardless of the soaking time, the biostimulant dose of 2.5 ml L<sup>-1</sup> of water resulted in a significantly higher increase ( $p < 0.05$ ) in the speed of seed germination (GSI) and emergence of the seedlings (ESI), but the 5.0 ml L<sup>-1</sup> dose was more efficient in achieving a greater early growth of the seedlings. The biostimulation of the seeds via soaking achieved greater GSI, ESI, RL, PL and PDW compared to the soaking of seeds in water and the treatment without soaking.

**Keywords:** *Zea mays*, seed biostimulation, germination, emergence, growth, quality



## Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo de gran importancia alimentaria, social y económica a nivel global. Actualmente es el cereal líder en términos de volumen de producción y está destinado a convertirse en el rubro agrícola más cultivado y comercializado en la próxima década. Así, se ha estimado que para 2030 superará al trigo como el cultivo con mayor superficie de siembra (Erenstein *et al.*, 2021; Erenstein *et al.*, 2022). En Ecuador la principal problemática del cultivo es la baja productividad, que se relaciona con factores tecnológicos y climáticos (López *et al.*, 2021; INEC, 2022). En este contexto, según cifras oficiales, únicamente el 11,6 % del maíz amarillo duro tiene estructura de riego; el resto de la superficie se cultiva como secano. Además, el 77,3 % de los suelos dedicados a maíz se quema todos los años como principal práctica de preparación del suelo, lo cual genera degradación del mismo. Por otra parte, alrededor del 50 % de la semilla utilizada en cultivos transitorios como el maíz es semilla tradicional o común, lo cual repercute en la baja productividad (INEC, 2022; López *et al.*, 2021). En cuanto a la crisis climática, se ha reportado impactos negativos en el maíz, con mermas en la productividad entre 10 y 40 kg ha<sup>-1</sup> a causa del cambio climático; el 61 % de las pérdidas se han debido a factores como sequías y heladas (MAG, 2021; López *et al.*, 2021). En los últimos años, el uso de semilla de calidad y alto rendimiento ha permitido un incremento en la productividad de maíz entre el 29,63 % y 57,85 %. Asimismo, la implementación de políticas públicas como precios mínimos de sustentación para pequeños y mediados productores ha contribuido a mejorar este aspecto; sin embargo, aún falta que todos los sectores maiceros del país se beneficien (Bonilla y Singaña, 2019; Caviedes, 2019). La calidad de la semilla se entiende como la suma de atributos relacionados con la calidad física, genética, fisiológica y sanitaria. Para que una semilla sea considerada de alta calidad, todos los atributos mencionados deben estar en equilibrio y son, por lo tanto, igualmente importantes (Kumar *et al.*, 2016). La calidad fisiológica de las semillas, por lo general, es definida según su capacidad de germinación, vigor, viabilidad y longevidad, parámetros que influyen en el desempeño de la semilla en condiciones de campo y almacenamiento (Costa *et al.*, 2021). El uso de semillas de alta calidad fisiológica es un factor fundamental para el éxito de muchas empresas agrícolas y bancos de semillas que ayudan a la conservación del germoplasma esencial para la agricultura; además, contribuye al retorno económico deseado por los productores y al cumplimiento de las crecientes demandas en la producción agropecuaria y agroindustrial (Whitehouse *et al.*, 2020; Costa *et al.*, 2021). En los últimos años, se ha venido advirtiendo que el estrés abiótico resultante del cambio climático, particularmente la temperatura elevada y el estrés hídrico, reducirá el rendimiento y la calidad de las semillas,

en especial la calidad fisiológica responsable del buen desempeño de las plantas en campo, por lo que se deberán buscar alternativas para reducir el impacto negativo de la crisis climática sobre la calidad de las semillas (Maity y Pramanik, 2013; Hampton *et al.*, 2016; Reed *et al.*, 2022). Entre estas alternativas, el uso de bioestimulantes se ha propuesto como un enfoque prometedor para aliviar el efecto negativo del estrés abiótico, así como para mejorar la germinación de semillas y el establecimiento de plántulas de manera sostenible (Gupta *et al.*, 2022a). Algunos bioestimulantes pueden usarse para aumentar la eficiencia metabólica y así mejorar la germinación en diferentes plantas. El efecto de los bioestimulantes a menudo depende del tipo de bioestimulante, la concentración y la especie de planta (Makhaye *et al.*, 2021). Los bioestimulantes tienen el potencial de liberar la latencia y mejorar la germinación de semillas de muchas especies de plantas al alterar los procesos fisiológicos en las semillas, incluso bajo estrés abiótico (Gupta *et al.*, 2022b). Sin embargo, el uso de bioestimulantes como mejoradores de los procesos de germinación y calidad de plántulas de maíz es reciente en muchos países, pero a nivel local la información disponible es limitada, más aún en variedades locales de libre polinización, donde en general provienen de semilla reciclada y almacenada siguiendo métodos tradicionales, por lo que existe la necesidad de desarrollar este tipo de bioensayos a fin de probar la eficacia de los bioestimulantes para potenciar la germinación de semillas y el crecimiento temprano de plántulas. Por lo anterior, el objetivo del trabajo fue evaluar la calidad fisiológica y el crecimiento temprano de plántulas de maíz en función de dosis y tiempos de remojo de semillas en bioestimulante.

## Materiales y métodos

### Localización

El experimento se desarrolló de septiembre a diciembre de 2022 en laboratorio y casa de cultivo del Instituto Superior Tecnológico Tsá'chila, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. El bioensayo se ubicó en las coordenadas UTM: X= 706257 y Y= 9972460, con una altitud de 578 m s. n. m., con temperatura promedio anual de 24,9 °C, precipitación promedio de 3052 mm y heliofanía de 780 horas anuales.

### Material experimental

Para el experimento se utilizó semillas de variedad de libre polinización INIAP 543 QPM. A fin de comprobar la viabilidad de las semillas previo al ensayo se realizó la prueba topográfica del tetrazolio a una muestra proveniente del mismo lote de semillas utilizadas en la investigación, siguiendo el protocolo del International Seed Testing Association (ISTA, 2016).

### Tratamientos, diseño y unidad experimental

Los tratamientos consistieron en tres tiempos de remojo (8, 16 y 24 horas) y tres niveles de bioestimulante (2,50, 5,00 y 7,50 mL de bioestimulante L<sup>-1</sup> de agua), más dos tratamientos control que fueron: 1) remojo en agua destilada por 24 horas y 2) sin remojo. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado en arreglo factorial A × B + 2 con 11 tratamientos y tres réplicas. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y la separación de medias con prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0,05$ ). Adicionalmente, se realizó contraste ortogonal entre los tratamientos control y los tratamientos de bioestimulación. El bioestimulante utilizado fue un producto comercial que contiene 112 g L<sup>-1</sup> de extractos de *Ascophyllum nodosum*, 90 ppm de auxinas, 100 ppm de giberelinas, 150 ppm de citocininas, enriquecido con macro y micronutrientes.

### Variables de germinación

**Índice de velocidad de germinación (IVG):** se determinó mediante la prueba de germinación estándar propuesta por la International Seed Testing Association (ISTA, 2016), utilizando el método «entre papel». Este consistió en colocar 25 semillas distribuidas en cinco columnas y cinco hileras, sobre dos láminas de papel toalla previamente humedecidas con agua destilada estéril. Posteriormente se cubrieron con dos láminas más de papel toalla humedecido y se enrollaron en forma de cigarro, los cuales se introdujeron en cámara de germinación a 25 °C durante 7 días. Se realizaron conteos diarios del número de semillas germinadas, considerando semillas con la radícula brotada. El cálculo del IVG se realizó de acuerdo con la ecuación [1] propuesta de Maguire (1962).

$$IVG = \left( \frac{\text{Número de semillas germinadas}}{\text{días del primer conteo}} \right) + \dots + \left( \frac{\text{Número de semillas germinadas}}{\text{días de último conteo}} \right) \quad [1]$$

**Porcentaje de germinación (PG):** se determinó al final de la prueba de germinación con la ecuación [2].

$$\text{Germinación (\%)} = \frac{\text{Número de semillas germinadas normales}}{\text{Número de semillas totales}} \times 100 \quad [2]$$

Al final de la prueba se consideraron plántulas normales aquellas con potencial para convertirse en plantas satisfactorias cuando se cultiven en suelos de buena calidad y en condiciones favorables de humedad, temperatura y luz (ISTA, 2016). Para clasificarse como normales, las plántulas deben satisfacer una de las siguientes categorías:

- **Intactas:** plántulas con todas las estructuras esenciales bien desarrolladas, completas, bien proporcionadas y sanas.
- **Con leves defectos:** plántulas con ligeros defectos en sus estructuras esenciales, pero, por lo demás, con un desarrollo satisfactorio y equilibrado comparable al de las plántulas intactas de la misma prueba.

- **Con infección secundaria:** plántulas que claramente habrían correspondido a una de las categorías anteriores, pero aparecen afectadas por hongos o bacterias que no proceden de las semillas de origen.

Por el contrario, las plántulas anormales son aquellas sin potencial para convertirse en plantas normales cuando se cultiven en suelos de buena calidad y en condiciones favorables de humedad, temperatura y luz (ISTA, 2016). Se consideran como plántulas anormales las que presentan los siguientes defectos:

- **Dañadas:** plántulas a las que falta cualquiera de las estructuras esenciales o que están tan e irremediamente dañadas que no cabe esperar que tengan un desarrollo equilibrado.
- **Deformadas o desequilibradas:** plántulas con un desarrollo débil o con alteraciones fisiológicas, o bien con sus estructuras esenciales deformadas o desproporcionadas.
- **Descompuestas:** plántulas con cualquiera de las estructuras esenciales tan enfermas o deterioradas a consecuencia de una infección primaria que el desarrollo normal no es posible.
- **Semillas sin germinar:** no germinaron al final del periodo de prueba. La clasificación de esta categoría es la siguiente:
  - **Duras:** semillas que quedan duras al final del periodo de análisis, debido a que no absorbieron agua. La dureza de las semillas es una forma de letargo. Es frecuente en muchas especies de fabáceas, pero también puede presentarse en otras familias.
  - **Frescas:** semillas (distintas de las semillas duras) que no han podido germinar en las condiciones de la prueba de germinación debido a la latencia, pero que permanecen limpias y firmes y se pueden convertir en una plántula normal. Pueden absorber agua en las condiciones establecidas en las normas ISTA, pero el proceso de germinación está obstruido.
  - **Muertas:** semillas que no son duras ni frescas y no han producido parte alguna de una plántula al final del periodo de prueba. Las semillas muertas absorben agua; por lo general, son blandas o descoloridas y con frecuencia tienen mohos. No dan indicios de formación de plántulas.

### Variables de emergencia y vigor

Se determinaron siguiendo las metodologías de Martínez *et al.* (2010) y Gámez *et al.* (2015).

**Índice de velocidad de emergencia (IVE):** se determinó mediante prueba de emergencia; las semillas fueron sembradas en bandejas germinadoras de 50 alveolos previamente llenadas con turba estéril. La semilla fue sembrada a 2 cm de profundidad. Se aplicó riego homogéneo durante 15 días de prueba. Se llevó a cabo conteos diarios del número de plántulas emergidas, considerando como primer día aquel en que se observó la primera plántula emergida. El final del conteo tuvo



lugar a los quince días después del establecimiento del experimento. El IVE se calculó de acuerdo con la ecuación [3] sugerida por Maguire (1962).

$$IVE = \left( \frac{\text{Número de plántulas emergidas}}{\text{días del primer conteo}} \right) + \dots + \left( \frac{\text{Número de plántulas emergidas}}{\text{días de último conteo}} \right) \quad [3]$$

**Porcentaje de emergencia (PE):** se determinó al final de la prueba con la ecuación [4].

$$\text{Germinación (\%)} = \frac{\text{Número de plántulas emergidas}}{\text{Número de semillas totales}} \times 100 \quad [4]$$

**Longitud de plántula (LP):** al final de la emergencia se tomaron 10 plántulas normales al azar de cada unidad experimental, a las que se midió en centímetros la longitud de la parte aérea, desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la última hoja.

**Longitud de raíz (LR):** al final de la emergencia se muestrearon 10 plántulas normales al azar de cada unidad experimental y se midió la longitud de raíz en centímetros, considerando desde el cuello de la raíz hasta el ápice.

**Peso seco de plántula (g):** se utilizaron las mismas plantas empleadas para medir la longitud de plántula y raíz, las cuales se colocaron en una estufa a 75 °C durante 72 horas; al final de este periodo, se determinó el peso en una balanza analítica de precisión.

## Resultados

Los resultados de la prueba del tetrazolio previo al bioensayo mostraron una viabilidad de las semillas superior al 98 %, promedio que se ubica dentro de los parámetros aceptables de calidad de semillas. El análisis de varianza (tabla 1) mostró que el tiempo de remojo (TR) de semillas en bioestimulante independientemente de la dosis solo influyó significativamente ( $p \leq 0,05$ ) en las variables IVG, LP, LR y PSP. Por su parte, independientemente del tiempo de remojo, los niveles del bioestimulante (NB) influyeron significativamente ( $p \leq 0,05$ ) en las variables IVG, IVE, LP y LR. Únicamente la variable IVG fue afectada significativamente ( $p \leq 0,05$ ) por el efecto de interacción TR  $\times$  NB. El contraste ortogonal entre el promedio de los tratamientos de remojo en bioestimulante versus el promedio del tratamiento de remojo de semillas en agua influyó de manera significativa ( $p \leq 0,05$ ) en las variables IVG, IVE, LP, LR y PSP. Por el contrario, las variables PG y PE no fueron afectadas estadísticamente ( $p > 0,05$ ) por el remojo en bioestimulante, en relación con el remojo en agua; el agua promueve un efecto similar al bioestimulante sobre estas variables (tabla 1). De manera similar, el contraste ortogonal entre el promedio de los tratamientos de remojo en bioestimulante versus el promedio del tratamiento sin remojo influyó de forma significativa ( $p \leq 0,05$ ) en las variables evaluadas, a excepción del PG y PE, que no fueron afectadas significativamente ( $p > 0,05$ ) por el bioestimulante, lo cual evidencia que la bioestimulación

ejerce un efecto positivo en la calidad fisiológica de plántulas de maíz (tabla 1).

El PG y PE de semillas y plántulas fueron superiores al 95 % en todos los tratamientos evaluados, independientemente de si fueron o no remojadas con bioestimulante o agua. Ello evidenció que los tratamientos evaluados no influyeron a estas variables de manera significativa, debido al buen estado de viabilidad de las semillas, que fue comprobado de manera previa al experimento con la prueba topográfica del tetrazolio.

Los resultados de interacción mostraron que las mayores tasas de IVG fueron alcanzadas por el tiempo de remojo en bioestimulante por 24 horas, lo cual indica que un mayor tiempo de remojo de las semillas en solución bioestimulante es beneficioso para aumentar la velocidad de germinación (tabla 2).

Independientemente del efecto de los niveles del bioestimulante, los tiempos de remojo de 16 y 24 horas fueron efectivos para incrementar la velocidad de germinación de las semillas y el crecimiento inicial de las plántulas de maíz (tabla 3). El tiempo de remojo de 24 horas mostró un incremento de IVG del 21,11 y 11,68 %, en relación con el tiempo de 8 y 16 horas, respectivamente. Los tiempos de 16 y 24 horas de remojo aumentaron la longitud de plántula en un 7,63 y 8,00 %, con respecto al menor tiempo de remojo. La LR fue potenciada en un 14,47 y 14,65 % por los tiempos de remojo de 16 y 24 horas, en relación con las 8 horas de remojo. El remojo de semillas por 16 y 24 horas aumentó el PSP en un 12,46 y 13,36 %, en relación con el remojo de 8 horas (tabla 3).

Independientemente del tiempo de remojo, la dosis de 2,5 mL L<sup>-1</sup> logró el mayor IVG con un incremento del 12,97 y 10,39 %, en relación con las dosis de 5,00 y 7,50 mL L<sup>-1</sup>, en su orden respectivo (tabla 4). De forma similar, el IVE fue mayor con la dosis menor de bioestimulante, con un incremento del 16,24 y 36,21 % en relación con los niveles de 5,0 y 7,5 mL L<sup>-1</sup>, respectivamente. Por otra parte, la dosis de 5,0 mL L<sup>-1</sup> del bioestimulante aumentó la LP en 13,07 y 6,09 % con respecto a las dosis de 2,5 y 7,5 mL L<sup>-1</sup>, respectivamente. Efecto similar se evidenció para la LR, con incrementos del 9,07 y 1,56 % con la dosis de 5,0 mL L<sup>-1</sup> sobre los niveles de 2,5 y 7,5 mL L<sup>-1</sup> de bioestimulante. Los resultados hallados evidencian que para promover una mayor velocidad de germinación de las semillas y emergencia de las plántulas es suficiente remojar las semillas en dosis bajas de bioestimulantes, mientras que para estimular el crecimiento temprano de plántulas de maíz es suficiente una dosis de 5,0 mL de bioestimulante L<sup>-1</sup> de agua (tabla 4).

La comparación ortogonal entre los promedios de los tratamientos de remojo de semillas en bioestimulante (RB) versus el promedio del remojo de semillas en agua (RA) y el promedio del tratamiento sin remojo (SR), mostraron amplias diferencias para todas variables analizadas (tabla 5). Los tratamientos de RB incrementaron el IVG en un

**Tabla 1.** Significancia estadística de las variables de germinación, emergencia y crecimiento analizadas

Fuente de variación	Significancia estadística del análisis de varianza (p-valor ANOVA)						
	IVG	PG (%)	IVE	PE (%)	LP (cm)	LR (cm)	PSP (g)
Tiempo de remojo (TR)	0,0001**	0,8865NS	0,0803NS	0,6073NS	0,0270*	0,0248*	0,0065*
Niveles de bioestimulante (NB)	0,0129*	0,2628NS	0,0045*	0,0812NS	0,0001**	0,0380*	0,4219NS
TR × NB	0,0086*	0,1867NS	0,1248NS	0,5374NS	0,0702NS	0,0734NS	0,0534NS
RB vs. RA	0,0372*	0,0658NS	0,0327*	0,9801NS	0,0421*	0,0468*	0,0216*
RB vs. SR	0,0001**	0,0655NS	0,0005**	0,0726NS	0,0001**	0,0001**	0,0362*
C.V. %	7,45	6,44	13,62	11,46	4,59	8,24	8,48

\*\* Significativo ( $\alpha \leq 0,01$ ); \* significativo ( $\alpha \leq 0,05$ ); NS no significativo ( $\alpha > 0,05$ ); RB = remojo en bioestimulante; RA = remojo en agua; SR = sin remojo; CV = coeficiente de variación; IVG = índice de velocidad de germinación; PG = porcentaje de germinación; IVE = índice de velocidad de emergencia; PE = porcentaje de emergencia; LP = longitud de plántula; LR = longitud radical; PSP = peso seco plántula.

**Tabla 2.** Efecto de interacción TR × NB sobre el índice de velocidad de germinación (IVG) de semillas de maíz

Tiempo de remojo (TR)	Niveles de bioestimulante (NB)		
	2,5 mL L <sup>-1</sup>	5,0 mL L <sup>-1</sup>	7,5 mL L <sup>-1</sup>
8 horas	34,62 bc <sup>v</sup>	25,89 a	33,12 bc
16 horas	38,59 c	36,70 bc	29,97 ab
24 horas	40,79 c	39,34 c	39,06 c

<sup>v</sup> Medias dentro de la matriz de interacción con letras distintas difieren significativamente de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha < 0,05$ ).

**Tabla 3.** Efecto del tiempo de remojo de semillas en solución bioestimulante sobre la velocidad de germinación y el crecimiento temprano de plántulas de maíz

Tiempo de remojo (TR)	IVG	LP (cm)	LR (cm)	PSP (g)
8 horas	31,21 a <sup>v</sup>	28,07 a	16,14 a	5,90 a
16 horas	35,09 b	30,39 b	18,87 b	6,74 b
24 horas	39,73 c	30,51 b	18,91 b	6,81 b

IVG = índice de velocidad de germinación; LP = longitud de plántula; LR = longitud radical; PSP = peso seco plántula. <sup>v</sup>Medias dentro de columnas con letras distintas difieren significativamente de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha < 0,05$ ).

**Tabla 4.** Efecto del remojo de semillas en tres niveles de bioestimulante sobre la velocidad de germinación, emergencia y el crecimiento temprano de plántulas de maíz

Niveles de bioestimulante (NB)	IVG	IVE	LP (cm)	LR (cm)
2,5 mL L <sup>-1</sup>	38,00 a <sup>v</sup>	38,42 a	27,54 a	17,45 a
5,0 mL L <sup>-1</sup>	33,07 b	32,18 ab	31,68 b	19,19 b
7,5 mL L <sup>-1</sup>	34,05 b	24,51 b	29,75 b	18,89 b

IVG = índice de velocidad de germinación; IVE = índice de velocidad de emergencia; LP = longitud de plántula; LR = longitud radical. <sup>v</sup>Medias dentro de columnas con letras distintas difieren significativamente de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha < 0,05$ ).

21,68 y 54,05 % en relación con los tratamientos de RA y SR, respectivamente. Asimismo, el IVE fue acrecentado en un 19,25 y 54,91 % con el tratamiento de RB, con respecto a los tratamientos controles de RA y SR, en su orden respectivo. De manera similar, la LP fue aumentada en un 12,97 y 26,48 % con los tratamientos de RB en comparación con los tratamientos controles de RA y SR, respectivamente. De la misma forma, los tratamientos de RB incrementaron la LR en un 25,21 y 38,61 % en relación con los controles de RA y SR, en su respectivo orden. Finalmente, el PSP fue aumentado en un 20,22 y 23,92 % con los tratamientos de RB, en contraste con los tratamientos controles de RA y SR, respectivamente (tabla 5).

**Tabla 5.** Comparación ortogonal entre el promedio de los tratamientos de remojo de semillas en bioestimulante (RB) versus el promedio de remojo en agua (RA) y el promedio del tratamiento sin remojo (SR), sobre la velocidad de germinación, emergencia y crecimiento de plántulas de maíz

Variables	Remojo de semillas en bioestimulante (RB)	Remojo de semillas en agua (RA)	Sin remojo
IVG (%)	35,34	27,68	16,24
IVE (%)	31,74	25,63	14,31
LP (cm)	29,99	26,10	22,05
LR (cm)	18,21	13,62	11,18
PSP (g)	6,48	5,17	4,93

## Discusión

Los resultados obtenidos revelan que la bioestimulación de semillas vía remojo previa al establecimiento en campo puede ser una alternativa efectiva para acelerar la germinación, la emergencia y el crecimiento inicial de plántulas de maíz, lo cual es una característica deseable en los tiempos actuales de crisis climática y estrés abiótico. Se evidenció que tiempos de remojo de semilla en solución bioestimulante de entre 16 y 24 horas mejoraron la velocidad de germinación, de emergencia y el crecimiento



temprano de plántulas de maíz, en relación con el remojo en agua y al tratamiento sin remojo.

En este sentido, los resultados obtenidos son cercanos a los alcanzados por Rodrigues *et al.* (2017), quienes probaron el efecto de dosis crecientes de un bioestimulante a base de ácido húmico sobre la germinación y vigor de plántulas de maíz, y concluyeron que el ácido húmico promovió un mayor crecimiento temprano de las plántulas; además, influyó positivamente en el índice de velocidad de emergencia hasta una dosis de 158 mL 100 kg<sup>-1</sup> semillas. Resultados próximos fueron reportados por Huang *et al.* (2017), que evaluaron el efecto del remojo de semillas de maíz dulce en una solución bioestimulante a base de espermidina (0,9 mM), y evidenciaron una significativa mejora del porcentaje de germinación de las semillas y vigor de las plántulas, lo que se tradujo en un mayor índice de velocidad de germinación, índice de vigor, alturas de brotes y pesos secos de brotes y raíces, en comparación con el tratamiento control, que consistió en semillas remojadas en agua destilada estéril. Por su parte, De Andrade *et al.* (2018) encontraron que el tratamiento de semillas de maíz con dosis de 0,50 y 0,75 L de *Ascophyllum nodosum* por 100 kg de semillas fue la más efectiva para el desarrollo temprano de plántulas de maíz. Resultados similares fueron alcanzados por Lima *et al.* (2020), quienes concluyeron que el tratamiento de semillas de maíz con el bioestimulante Stimulate en dosis de 16,4 mL kg<sup>-1</sup> de semillas fue la mejor alternativa para incrementar crecimiento y productividad en maíz dulce. En este mismo contexto, Fayzi *et al.* (2020) determinaron que el tratamiento de semillas de maíz con extracto de algas marroquíes, principalmente *Jania rubens* y *Corallina elongata*, aumentaron la longitud de los brotes y raíces, el área foliar, los pesos frescos y secos de las plantas de maíz del 10 a 53 %, en comparación con el tratamiento control. En cuanto al tiempo de remojo de las semillas, los resultados son cercanos a los obtenidos por Lara-Viveros *et al.* (2020), quienes evaluaron tres tiempos de hidroacondicionamiento de semillas de maíz (12, 18 y 26 horas) en el crecimiento y rendimiento del cultivo, y encontraron que las semillas hidroacondicionadas por 12 y 18 horas germinaron más rápidamente en contraste con el tratamiento testigo (sin remojo) y 36 horas de remojo. Además, estos mismos autores reportaron que el rendimiento en campo fue afectado por los tiempos de remojo, donde un tiempo óptimo de 22,12 horas de remojo logró un rendimiento estimado de 16,6 t ha<sup>-1</sup>. Resultados semejantes fueron logrados por Baldotto *et al.* (2021), quienes reportaron que semillas de maíz remojadas en solución bioestimulante a base de ácido húmico por tiempos mayores a 8 horas y menores a 16 horas influyeron positivamente las características cuantitativas de las plántulas. En este mismo contexto, resultados alcanzados por Mutlu y Yildiz (2021) evidenciaron que semillas de maíz remojadas por 16 horas en solución de

ácido salicílico (AS) y extractos de *Salix babylonica* (SB) lograron incrementos del peso fresco de plántulas del 130 y 225 %, respectivamente, en relación con el tratamiento de semillas sin remojo. Asimismo, el remojo de semillas en AS y en extractos de SB lograron incrementos de peso radical de las plántulas en un 43 y 87 %, en relación con el tratamiento control sin remojo. En otra experiencia similar, Ahmed y El-Mahdy (2022) concluyeron que semillas de maíz remojadas por 20 horas en extractos de hoja de *Moringa oleifera* lograron mayores índices de germinación, emergencia y crecimiento de plántulas de maíz, seguidos por los tiempos de remojo de 16 y 12 horas, en comparación con el tratamiento control sin remojar la semilla.

Los resultados logrados y reportados con bioestimulación de semillas relacionan los aumentos de las características biométricas observadas en el desarrollo inicial de la planta con el efecto fisiológico proporcionado por el bioestimulante, por lo que pueden ser una estrategia para minimizar los efectos de las adversidades climáticas, al permitir que las plántulas expresen con mayor fuerza su capacidad metabólica y un mayor desarrollo del sistema radicular (De Andrade *et al.*, 2018; Gupta *et al.*, 2022b). En este contexto, varios informes sugirieron que los efectos beneficiosos de las algas marinas y sus extractos podrían atribuirse en gran medida a la presencia de más de un grupo de sustancias promotoras del crecimiento de las plantas, como fitorreguladores, micronutrientes, vitaminas y aminoácidos (EL Boukhari *et al.*, 2020; Ali *et al.*, 2021). Además, estudios anteriores informaron que los extractos de algas contenían mayores cantidades de minerales esenciales y oligoelementos como N, K, Mg, P, Ca y Fe requeridos para el crecimiento de las plantas (EL Boukhari *et al.*, 2020; Ali *et al.*, 2021). La acción de fitorreguladores y nutrientes presentes en la composición de los bioestimulantes induce la germinación de semillas, el alargamiento del tallo, la expansión de las hojas, y actúa sobre la diferenciación y elongación celular, especialmente en las primeras etapas de desarrollo de las plántulas (Marschner, 2012; Taiz *et al.*, 2017).

## Conclusiones

El remojo de semillas en solución bioestimulante fue efectiva para potenciar la calidad fisiológica y el crecimiento temprano de plántulas de maíz. Los tiempos de remojo de entre 16 y 24 horas lograron mayor efecto para acelerar la germinación y el crecimiento temprano de plántulas de maíz. La dosis de 2,5 mL de bioestimulante aceleró en mejor medida la germinación y la emergencia de las plántulas. La dosis de 5,0 mL de bioestimulante fue más efectiva para incrementar el crecimiento radical de plántulas de maíz. El remojo de semillas en agua destilada estéril induce mejores índices de germinación y emergencia de plántulas que semillas sin remojo previo, pero menores al remojo en bioestimulante.

## Agradecimientos

Los autores agradecemos al Instituto Superior Tecnológico Tsáchila por haber financiado la investigación a través del proyecto «Eficacia y validación de tecnologías de fertilización en el rendimiento y calidad forrajera del maíz QPM en Santo Domingo de los Tsáchilas». Asimismo, extendemos el agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, por haber colaborado con reactivos y los equipos de laboratorio para ejecutar parte de la investigación.

## Contribución de autoría

Jessica Cargua contribuyó a la planificación de la investigación y a la redacción del manuscrito. Karol Zurita y Daniela Luzcando contribuyeron a la ejecución de la investigación y al procesamiento de datos. Galo Cedeño contribuyó el análisis de datos y revisión del manuscrito. Freddy Mesías contribuyó con la ejecución del trabajo en laboratorio y la revisión del manuscrito. Todos los autores aprobaron la versión final del texto.

## Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

## Referencias bibliográficas

- Ali, O., Ramsuhag, A. y Jayaraman, J. (2021).** «Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards Sustainable Crop Production». *Plants*, 10(3), p. 531. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/plants10030531>
- Ahmed, A. y El-Mahdy, A. (2022).** «Improving seed germination and seedling growth of maize (*Zea mays*, L.) seed by soaking in water and moringa oleifera leaf extract». *Current Chemistry Letters*, 11, pp. 147-156.
- Baldotto, M., Melo, R. y Baldotto, L. (2021).** «Initial development of maize in response to different periods of seed immersion in humic acid (HA)». *Australian Journal of Crop Science*, 15(10), pp. 1259-1262. Disponible en: <https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.10.p3148>
- Bonilla, A. y Singña, D. (2019).** «La productividad agrícola más allá del rendimiento por hectárea: análisis de los cultivos de arroz y maíz duro en Ecuador». *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 29(1), pp. 70-83. Disponible en: <http://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.06>
- Caviedes, M. (2019).** «Producción de semilla de maíz duro en el Ecuador: retos y oportunidades». *Avances en Ciencias e Ingeniería. ACI*, 11(17), pp. 116-123. Disponible en: <https://doi.org/10.18272/aci.v11i1.1100>
- Costa, C., Meneghello, G., Jorge, M. y Costa, E. (2021).** «The importance of physiological quality of seeds for agriculture». *Colloquium Agrariae*, 17(4), pp. 102-119. Disponible en: <http://doi.org/10.5747/ca.2021.v17.n4.a452>
- De Andrade, C., Da Silva, A., Cantão, C., Mello, G., Siqueira, G. y Rodrigues, R. (2018).** «Performance of maize seedlings using biostimulant in seed treatment». *Científica, Jaboticabal*, 46(3), pp. 274-282. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2018v46n3p274-282>
- Erenstein, O., Chamberlin, J. y Sonder, S. (2021).** «Estimating the global number and distribution of maize and wheat farms». *Global Food Security*, 30, 100558. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100558>
- Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K. y Prasanna, B. (2022).** «Global maize production, consumption and trade: trends and implications». *Food Security*, 14, pp. 1295-1319. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>
- EL Boukhari, M. E., Barakate, M., Bouhia, Y. y Lyamlouli, K. (2020).** «Trends in seaweed extract based biostimulants: Manufacturing process and beneficial effect on soil-plant systems». *Plants*, 9, p. 359. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/plants9030359>
- Fayzi, L., Dayan, M., Cherifi, O., Boufous, E. E. y Cherifi, K. (2020).** «Biostimulant effect of four Moroccan seaweed extracts applied as seed treatment and foliar spray on maize». *Asian Journal of Plant Sciences*, 19, pp. 419-428. Disponible en: <https://doi.org/10.3923/ajps.2020.419.428>
- Gámez, A., De la O, M., Ávila, M., Virgen, J., Ruiz, N., Gámez, F. y Ascencio, A. (2015).** «Calidad fisiológica de semilla y desarrollo de plántulas de maíz a temperaturas bajas». *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(8), pp. 1769-1779.
- Gupta, S., Van Staden, J. y Doležal, K. (2022a).** «An understanding of the role of seed physiology for better crop productivity and food security». *Plant Growth Regulation*, 97, pp. 171-173. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10725-022-00827-8>
- Gupta, S., Doležal, K., Kulkarni, M., Balázs, E. y Van Staden, J. (2022b).** «Role of non-microbial biostimulants in regulation of seed germination and seedling establishment». *Plant Growth Regulation*, 97, pp. 271-313. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10725-021-00794-6>
- Hampton, J., Conner, A., Boelt, B. y Chastain, T. (2016).** «Climate change: Seed production and options for adaptation». *Agriculture*, 6, p. 33. Disponible en: <http://doi.org/10.3390/agriculture6030033>
- Huang, Y., Lin, C., He, F., Li, Z., Guan, Y., Hu, Q. y Hu, J. (2017).** «Exogenous spermidine improves seed germination of sweet corn via involvement in phytohormone interactions, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and relevant gene expression». *BMC Plant Biology*, 17(1). Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0951-9>
- Instituto Nacional de Estadística y Censo, INEC. (2022).** «Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2021». Disponible en: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac-2021/Principales%20resultados-ESPAC\\_2021.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2021/Principales%20resultados-ESPAC_2021.pdf)
- International Seed Testing Association, ISTA. (2016).** *Reglas Internacionales para el Análisis de las Semillas 2016*. Zúrich: ISTA. Disponible en: [https://vri.umayor.cl/images/ISTA\\_Rules\\_2016\\_Spanish.pdf](https://vri.umayor.cl/images/ISTA_Rules_2016_Spanish.pdf)
- Kumar, J., Prasad, R., Kumar, M., Singh, C., Sinha, A. y Pathak, A. (2016).** «Seed quality markers: A review». *Research & Reviews: Journal of Botanical Sciences*, 2016, pp. 13-17.



- Lara-Viveros, F., Landero-Valenzuela, N., Aguado-Rodríguez, G., Bautista-Rodríguez, E., Martínez-Acosta, E. y Callejas-Hernández, J. (2020).** «Effects of hydropriming on maize seeds (*Zea mays* L) on growth, development, and yield of crops». *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 52(1), pp. 72-86.
- Lopez, G., Gaiser, T., Ewert, F. y Srivastava, A. (2021).** «Effects of recent climate change on maize yield in Southwest Ecuador». *Atmosphere*, 12(3), p. 299. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/atmos12030299>
- Lima, S., Jesus, A., Vendruscolo, E., Oliveira, T., Andrade, M. y Simon, C. (2020).** «Development and production of sweet corn applied with biostimulant as seed treatment». *Horticultura Brasileira*, 38, pp. 94-100. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-0536202000115>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería, MAG. (2021).** *Boletín Situacional. Cultivo de maíz amarillo*. Quito: Ministerio de Agricultura y Ganadería. Disponible en: [http://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/situacionales/2020/boletin\\_situacional\\_maiz\\_duro\\_2020.pdf](http://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/situacionales/2020/boletin_situacional_maiz_duro_2020.pdf)
- Marschner, P. (2012).** *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. (3.ª ed.). Londres: Elsevier.
- Martínez, J., Virgen, J., Peña, M. y Santiago, A. (2010).** «Índice de velocidad de emergencia en líneas de maíz». *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(3), pp. 289-304.
- Maguire, J. (1962).** «Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergences and vigor». *Crop Science*, 2, pp. 176-177.
- Makhaye, G., Mofokeng, M., Tesfay, S., Aremu, A., Van Staden, J. y Amoo, S. (2021).** «Influence of plant biostimulant application on seed germination». En: S. Gupta y J. Van Staden (eds.), *Biostimulants for crops from seed germination to plant development: A practical approach*. Elsevier. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/C2019-0-05281-8>
- Maity, A. y Pramanik, P. (2013).** «Climate change and seed quality: an alarming issue in crop husbandry». *Current Science*, 105(10), pp. 1336-1338.
- Mutlu, H. y Yildiz, B. (2021).** «Seed treatment with biostimulants extracted from weeping willow (*Salix babylonica*) enhances early maize growth». *Plants*, 10, 1449. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/plants10071449>
- Reed, R., Bradford, K. y Khanday, I. (2022).** «Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate». *Heredity*, 128, pp. 450-459. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>
- Rodrigues, L., Alves, C., Rego, C., Da Silva, T. y Da Silva, J. (2016).** «Humic acid on germination and vigor of corn seeds». *Revista Caatinga*, Mossoró, 30(1), pp. 149-154. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252017v30n116rc>
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. y Murphy, A. (2017).** *Fisiología e desenvolvimento vegetal*. (6.ª ed.). Porto Alegre: Artmed.
- Whitehouse, K., Hay, F. y Lusty, C. (2020).** «Why seed physiology is important for genebanking». *Plants*, 9(5), p. 584. Disponible en: <http://doi.org/10.3390/plants9050584>