

Evaluación

de la germinación de accesiones nativas de maíz conservadas en el banco de semillas de la UTMACH

Recibido: 29/06/26
Aceptado: 21/07/26
Publicado: 18/08/26

Evaluation of germination of native maize accessions conserved in the UTMACH seed bank

Karen Geanella Miranda Ordóñez^{1*}

E-mail: kmirandao@unemi.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7956-9624>

Ivanna Gabriela Tuz Guncay²

E-mail: ituz@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0085-3495>

José Nicasio Quevedo Guerrero²

E-mail: jnquevedo@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8974-5628>

Edwin Andres Arias Farez²

E-mail: edwinariasfarez97@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9114-9830>

¹ Universidad Estatal de Milagro, Milagro, Guayas, Ecuador.

² Universidad Técnica de Machala, Machala, El Oro, Ecuador.

*Autor para correspondencia

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Miranda Ordóñez, K. G., Tuz Guncay, I. G., Quevedo Guerrero, J. N. & Arias Farez, E. A. (2026). Evaluación de la germinación de accesiones nativas de maíz conservadas en el banco de semillas de la UTMACH. *Revista Científica Agroecosistemas*, 14, e843. <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/843>

RESUMEN

La conservación de accesiones nativas en bancos de semillas demanda monitoreo de evaluaciones periódicas de viabilidad a fin de identificar materiales con reducida calidad fisiológica y plantear estrategias de recuperación. En este trabajo se evaluó la capacidad de germinación y el vigor inicial de cinco accesiones nativas de maíz (*Zea mays* L.), conservadas en el Banco de Semillas de la UTMACH identificadas como: SIRF-109, SIRF-110, SIRF-111, SIRF-125 y SIRF-126. Se aplicaron cinco tratamientos pregerminativos: T1 agua destilada, T2 ácido giberélico, T3 agua de coco, T4 *Trichoderma* sp. y T5 extracto de algas marinas, se usó un DCA con arreglo factorial 5 × 5. Se registraron las siguientes variables como: semillas germinadas, no germinadas, duras, frescas, muertas, plántulas normales, plántulas anormales, longitud de raíz y longitud de plúmula. El ANOVA reveló diferencias significativas ($p < 0,001$), para plántulas normales, longitud de raíz y longitud de plúmula. El T5 algas marinas favorecieron el crecimiento inicial y el agua de coco fue el tratamiento con respuesta limitante. Las accesiones SIRF-109, SIRF-110, SIRF-111 y SIRF-125 conservaron viabilidad aceptable, mientras que SIRF-126 presentó germinación baja y requiere regeneración prioritaria.

Palabras clave:

Viabilidad fisiológica, Tratamientos pregerminativos, Recursos fitogenéticos, Ex situ, Accesiones.

ABSTRACT

The conservation of native accessions in seed banks requires periodic viability assessments to identify materials with reduced physiological quality and to develop recovery strategies. This study evaluated the germination capacity and initial vigor of five native maize (*Zea mays* L.), accessions conserved in the UTMACH Seed Bank, identified as: SIRF-109, SIRF-110, SIRF-111, SIRF-125, and SIRF-126. Five pre-germination treatments were applied: T1 distilled water, T2 gibberellic acid, T3 coconut water, T4 *Trichoderma* sp., and T5 seaweed extract; a 5 × 5 factorial design was used. The following variables were recorded: germinated seeds, ungerminated seeds, hard seeds, fresh seeds, dead seeds, normal seedlings, abnormal seedlings, root length, and plumule length. ANOVA revealed significant differences ($p < 0.001$), for normal seedlings, root length, and plumule length. The T5 seaweed treatment favored early growth, and coconut water was the limiting treatment. Accessions SIRF-109, SIRF-110, SIRF-111, and SIRF-125 maintained acceptable viability, while SIRF-126 showed low germination and requires priority regeneration.

Keywords:

Physiological viability, Pregerminative treatments, Plant genetic resources, Ex situ, Accessions.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.), constituye uno de los cereales de consumo más importantes a nivel mundial, tanto por su valor alimentario como por su relevancia cultural y económica. En Ecuador, el maíz nativo representa un recurso genético de incalculable valor, dado que las variedades locales poseen características de adaptación únicas que se han desarrollado a lo largo de siglos de selección por parte de las comunidades agrícolas (Cevallos-Cevallos et al., 2022). La modernización de la agricultura, el cambio climático y la introducción de variedades mejoradas ha causado erosión genética de los materiales nativos poniéndolos en riesgo por lo que su conservación es necesaria en los bancos de semillas (Khoury et al., 2022).

Los bancos de semillas desempeñan un papel central en la salvaguarda de la diversidad genética vegetal, dado que permiten almacenar colecciones de accesiones bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa (FAO/, 2022). No obstante, la viabilidad de las semillas almacenadas tiende a decrecer con el paso del tiempo, razón por la cual resulta imprescindible realizar pruebas germinativas a intervalos regulares con el fin de monitorear su estado fisiológico y determinar cuándo es necesario proceder a la regeneración del material (Guzzon et al., 2021). El Banco de Semillas de la UTMACH alberga accesiones nativas de maíz provenientes de distintas localidades del sur ecuatoriano; sin embargo, muchas de estas accesiones no han sido sometidas a evaluaciones sistemáticas, situación que genera incertidumbre respecto de su verdadero estado de conservación.

Conforme a los protocolos de la ISTA (2023), la prueba de germinación es el método más utilizado para evaluar la viabilidad en los bancos de germoplasma. Cuando las semillas se encuentran en periodo de dormancia o tienen una viabilidad limitada es necesario recurrir a los tratamientos pregerminativos que estimulen la germinación, activen procesos metabólicos como la hidratación controlada, la reparación celular la síntesis proteica y la activación de enzimas (Lutts et al., 2016; Rhaman, 2025).

Entre estos tratamientos se cuentan los reguladores de crecimiento, como el ácido giberélico (GA3), el cual promueve la síntesis de enzimas hidrolíticas y la movilización de reservas durante la germinación (Gnawali & Subedi, 2021); el agua de coco, rica en citoquininas naturales y nutrientes esenciales con potencial para estimular la división celular (Yong et al., 2009), los microorganismos del género *Trichoderma* sp. utilizados como bioagentes, que no solo favorecen el crecimiento vegetal mediante la producción de fitohormonas y la solubilización de nutrientes, sino que también ejercen un efecto protector frente a patógenos y mayor vigor en las primeras etapas de desarrollo en plántula (Cardarelli et al., 2022; Ahmed et al., 2025); y los extractos de algas marinas, que aportan hormonas vegetales, aminoácidos y oligoelementos con acción bioestimulante (Shukla et al., 2025).

Con esta investigación se evaluó el porcentaje de germinación y el vigor inicial de cinco accesiones de maíz recolectadas y conservadas en el Banco de Semillas de la UTMACH, mediante la aplicación de tratamientos

pregerminativos para determinar su viabilidad fisiológica y establecer criterios para su conservación y regeneración.

Los resultados generados aportan información base para establecer criterios técnicos que permitan definir qué accesiones deben ser regeneradas con prioridad y qué tratamientos pregerminativos resultan más eficientes para apoyar la conservación de los recursos fitogenéticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

La investigación se desarrolló en el laboratorio de suelos con material del Banco de semillas ubicado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala (UTMACH), cantón Machala, provincia de El Oro, Ecuador, a una altitud de 5 m.s.n.m.

Material genético

Se utilizaron cinco accesiones nativas de maíz (SIRF-109, SIRF-110, SIRF-111, SIRF-125 y SIRF-126), conservadas en el banco de semillas de la institución. Las accesiones corresponden a materiales recolectados hace dieciocho meses en distintas localidades de la parte alta de El Oro específicamente en las zonas de: Pindal, Las Lajas y Chiriboga. Estas semillas presentan características morfológicas distintivas que incluyen granos de color amarillo, blanco y morado. Previo al ensayo, se determinó el peso de 100 semillas y el contenido de humedad de cada accesión, registrándose valores de peso entre 23,40 g (SIRF-110) y 38,73 g (SIRF-111), y humedades entre 12,7% (SIRF-111) y 15,7% (SIRF-110).

Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 5 × 5, conformado por cinco tratamientos pregerminativos y cinco accesiones nativas de maíz, obteniéndose un total de 625 semillas evaluadas. La distribución experimental de las semillas por tratamiento y accesión se presenta en la Tabla 1, mientras que la descripción y dosis de los tratamientos aplicados durante la imbibición se detallan en la Tabla 2.

Tabla 1. Distribución de semillas por tratamiento pregerminativo y accesión de maíz nativo bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 5 × 5.

Tratamiento	SIRF-109	SIRF-110	SIRF-111	SIRF-125	SIRF-126
T1: Agua destilada	25	25	25	25	25
T2: Ácido giberélico	25	25	25	25	25
T3: Agua de coco	25	25	25	25	25
T4: <i>Trichoderma</i> sp.	25	25	25	25	25
T5: Extracto de algas	25	25	25	25	25

Tabla 2. Descripción de los tratamientos pregerminativos aplicados durante la imbibición de semillas de maíz nativo.

Tratamiento	Descripción del tratamiento	Dosis o concentración
T1	Agua destilada	Testigo
T2	Ácido giberélico	30 mg L ⁻¹
T3	Agua de coco	300 mL
T4	Trichoderma sp.	1 g de sustrato colonizado por cada 100 mL de agua destilada
T5	Extracto de algas marinas	3 µL

Durante el primer día se mantuvieron en oscuridad y luego manteniendo las condiciones de temperatura del laboratorio (25±2°C), y humedad relativa controlada. Los tratamientos se aplicaron diariamente y el registro de los datos se realizó también cada día durante los días que duró el ensayo. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de semillas germinadas (SG), semillas no germinadas (SNG), semillas duras (SD), semillas frescas (SF), semillas muertas (SM), plántulas normales (PN), plántulas anormales (PA), longitud de raíz (LR), y longitud de plúmula (LP).

La clasificación de plántulas normales y anormales se realizó siguiendo los criterios de la ISTA (2023), considerando normales aquellas con raíz y plúmula bien desarrolladas y sin deformaciones visibles.

Análisis estadístico

Los datos fueron procesados mediante análisis de varianza (ANOVA), de dos vías con el modelo lineal general univariado, seguido de pruebas post hoc de Tukey HSD y Dunnett para comparaciones múltiples, utilizando el software IBM SPSS Statistics versión 27. Previamente, se verificaron

los supuestos de normalidad mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. Para la comparación de medias se empleó la prueba de Tukey (HSD), con nivel de significancia del 5%, complementada con la prueba de Dunnett tomando al testigo como grupo control.

RESULTADOS

En la Tabla 3 se observa diferentes reacciones de las accesiones de maíz frente a los tratamientos pregerminativos. Las accesiones S1RF-109, S1RF-111 y S1RF-125 presentaron los porcentajes más altos de germinación alcanzando valores entre 88 y 100%, a diferencia de la accesión S1RF-126 que presentó la respuesta germinativa más baja para cada tratamiento con valores entre 16 y 40 % reflejando una menor calidad fisiológica.

El testigo con agua destilada permitió germinar sin inconvenientes a las accesiones S1RF-110, S1RF-111 y S1RF-125. El tratamiento con ácido giberélico favoreció la germinación en las accesiones S1RF-109 y S1RF-111. El tratamiento con agua de coco presentó el comportamiento más irregular, se presentó baja respuesta en S1RF-110 y S1RF-126. Por otra parte, el tratamiento con *Trichoderma sp.* mantuvo porcentajes altos de germinación para las cuatro accesiones, exceptuando a S1RF-126 y finalmente el extracto de algas marinas fue favorable para las accesiones S1RF-110 y S1RF-125 pero siguió presentando bajo valor germinativo para S1RF-126.

Estos resultados indican que la germinación está condicionada a la interacción que hay entre el tratamiento pregerminativo y la accesión de maíz ya que no todas las accesiones respondieron de la misma forma a cada tratamiento ya que está influenciado por la variabilidad genética del material.

Tabla 3. Porcentaje de semillas germinadas, duras, frescas y muertas de accesiones de maíz por tratamiento.

TTO	ACCESION	% SG	% SNG	% SD	% SF	% SM
T1	S1RF-109	88	12	4	4	4
T1	S1RF-110	96	4	0	4	0
T1	S1RF-111	100	0	0	0	0
T1	S1RF-125	100	0	0	0	0
T1	S1RF-126	40	60	20	28	12
T2	S1RF-109	100	0	0	0	0
T2	S1RF-110	92	8	8	0	0
T2	S1RF-111	100	0	0	0	0
T2	S1RF-125	80	20	4	0	16
T2	S1RF-126	36	64	20	32	12
T3	S1RF-109	100	0	0	0	0
T3	S1RF-110	28	72	24	48	0
T3	S1RF-111	76	24	12	0	12
T3	S1RF-125	96	4	0	0	4
T3	S1RF-126	20	80	28	12	40
T4	S1RF-109	100	0	0	0	0

T4	SIRF-110	96	4	4	0	0
T4	SIRF-111	96	4	0	4	0
T4	SIRF-125	96	4	0	0	4
T4	SIRF-126	28	72	36	0	36
T5	SIRF-109	96	4	0	0	4
T5	SIRF-110	100	0	0	0	0
T5	SIRF-111	92	8	0	8	0
T5	SIRF-125	100	0	0	0	0
T5	SIRF-126	16	84	28	28	28

Leyenda: SG: Semillas germinadas, SNG: Semillas no germinadas SD: Semillas duras, SF: semillas frescas, SM: Semillas muertas

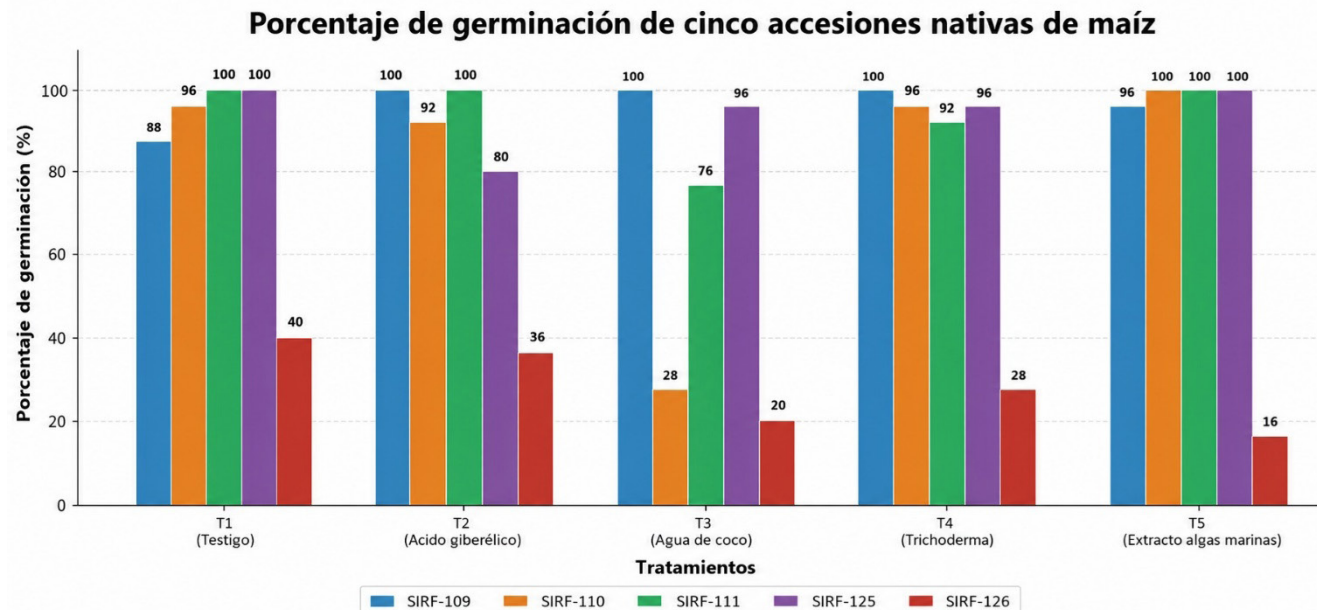


Fig. 1. Porcentaje de germinación de cinco accesiones nativas de maíz bajo diferentes tratamientos pregerminativos.

La figura 1 muestra el porcentaje de germinación de las cinco accesiones de maíz nativo, se observa una respuesta diferenciada entre accesiones evidenciándose que el efecto de los tratamientos se vio condicionado a las características genéticas del material evaluado.

La accesión SIRF-109 presentó germinación alta y estable entre el 88 y 100 %, alcanzó el 100 % con el ácido giberélico, agua de coco y *Trichoderma sp.* esto evidencia que esta accesión tiene buena calidad fisiológica.

La accesión SIRF-125 presentó buena germinación para testigo, agua de coco, *Trichoderma sp.* extracto de algas marinas, sin embargo, con ácido giberélico presentó un 80 % por lo que esta accesión no ha sido favorecida por la hormona.

SIRF-110 es una accesión que mantuvo alta tasa de germinación, pero con el agua de coco logró un 28% viéndose totalmente afectada.

La accesión SIRF-111 conservó altos valores de germinación, pero asimismo disminuyó a 76 % con el agua de coco y a 92 % con extracto de algas marinas.

La accesión SIRF-126 fue la que presentó menor respuesta germinativa en todos los tratamientos con valores entre 16

a 40 %, esto evidencia una baja calidad fisiológica y menor viabilidad frente a las demás.

Análisis de varianza (ANOVA)

El análisis de varianza bifactorial evidenció diferencias altamente significativas ($p < 0,001$), para los factores tratamiento y accesión en las variables plántulas normales (PN), longitud de raíz (LR), y longitud de plúmula (LP). Asimismo, la interacción tratamiento $\times$ accesión fue significativa en todas las variables evaluadas, lo que indica que la respuesta de las accesiones varió según el tratamiento pregerminativo aplicado (Tabla 4). La variable plántulas anormales (PA), no presentó diferencias significativas para los factores principales tratamiento ($F = 0,337$; $p = 0,853$), y accesión ($F = 1,221$; $p = 0,301$). Sin embargo, la interacción tratamiento $\times$ accesión fue significativa ($F = 2,058$; $p = 0,009$), lo que evidencia diferencias en la respuesta de esta variable según la combinación específica entre tratamiento y accesión. Los valores de R^2 ajustado indicaron que el modelo explicó el 41,2% de la variabilidad en PN, el 57,0% en LR y el 55,9% en LP. En contraste, para PA el modelo explicó únicamente el 2,4% de la variabilidad, lo que muestra una baja capacidad explicativa del modelo para esta variable.

Tabla 4. Resumen del análisis de varianza (ANOVA) de dos vías para las variables evaluadas.

Variable	Fuente	SC	gl	MC	F	Sig.	R2 adj.
PN	Tratamiento	26,074	4	6,518	46,034	<0,001	0,412
PN	Accesión	26,410	4	6,602	46,627	<0,001	
PN	Tratamiento × Accesión	12,950	16	0,809	5,716	<0,001	
PA	Tratamiento	0,256	4	0,064	0,337	0,853	0,024
PA	Accesión	0,928	4	0,232	1,221	0,301	
PA	Tratamiento × Accesión	6,256	16	0,391	2,058	0,009	
LR	Tratamiento	2569,345	4	642,336	83,872	<0,001	0,570
LR	Accesión	2792,459	4	698,115	91,155	<0,001	
LR	Tratamiento × Accesión	1152,880	16	72,055	9,408	<0,001	
LP	Tratamiento	169,981	4	42,495	73,850	<0,001	0,559
LP	Accesión	216,177	4	54,044	93,920	<0,001	
LP	Tratamiento × Accesión	83,042	16	5,190	9,020	<0,001	

Leyenda: PN: Plántulas normales. PA: Plántulas anormales. LR: Longitud de raíz. LP: Longitud de plúmula.

Plántulas normales (PN)

La variable plántulas normales presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos ($F = 46,034$; $p < 0,001$). Los tratamientos testigo y ácido giberélico registraron los mayores porcentajes de plántulas normales, con medias marginales estimadas de 56,0% y 51,2%, respectivamente, sin diferencias significativas entre ellos según la prueba de Tukey HSD. Los tratamientos con *Trichoderma sp.* y extracto de algas marinas presentaron valores intermedios de 46,4% y 48,0%, respectivamente, formando un grupo estadísticamente homogéneo junto con el testigo y el ácido giberélico (Figura 2).

Por el contrario, el tratamiento con agua de coco registró 0% de plántulas normales, ubicándose significativamente por debajo del resto de tratamientos. De acuerdo con la prueba de Dunnett, los tratamientos con ácido giberélico, *Trichoderma sp.* y extracto de algas marinas no presentaron diferencias significativas respecto al testigo, mientras que el agua de coco sí mostró diferencias significativas ($p < 0,001$). En cuanto a las accesiones, SIRF-126 presentó una media prácticamente nula de plántulas normales, diferenciándose significativamente de las demás accesiones, mientras que SIRF-110 registró la mayor proporción de plántulas normales.

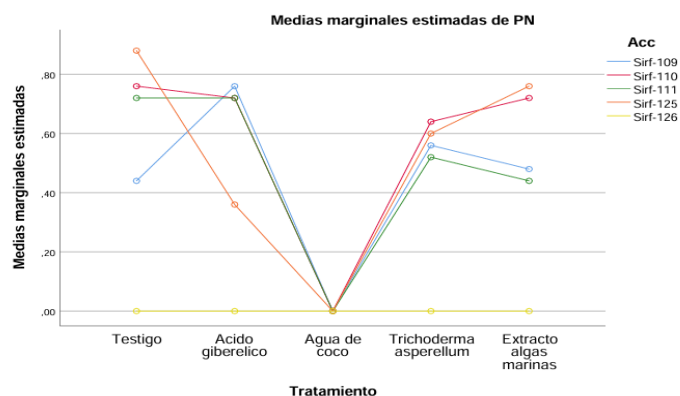


Fig. 2. Medias marginales estimadas de plántulas normales para la interacción tratamiento × accesión.

Plántulas anormales (PA)

La variable plántulas anormales no presentó diferencias significativas entre tratamientos ($F=0,337$; $p=0,853$), ni entre accesiones ($F=1,221$; $p=0,301$). Las medias marginales estimadas por tratamiento oscilaron entre 24,8% (T2, T3 y T5), y 29,6% (T4), sin formarse grupos diferenciados en la prueba de Tukey. Sin embargo, la interacción tratamiento × accesión resultó significativa ($F=2,058$; $p=0,009$), lo que sugiere que la respuesta en términos de anormalidad de las plántulas depende de la combinación específica entre el tratamiento aplicado y la accesión evaluada. El bajo valor de R cuadrado ajustada (0,024), confirma que los factores principales explican una proporción mínima de la varianza en esta variable, lo que indica que la ocurrencia de plántulas anormales podría estar más relacionada con factores intrínsecos de las semillas individuales, como el daño mecánico, las deficiencias nutricionales de la semilla madre o las condiciones microambientales del ensayo (Figura 3).

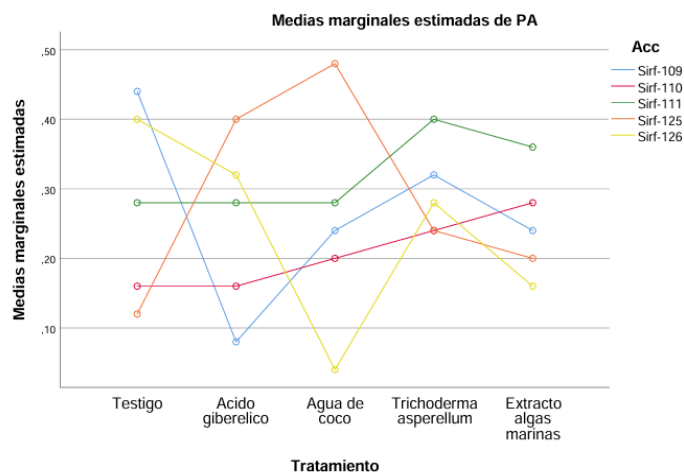


Fig. 3. Medias marginales estimadas de plántulas anormales para la interacción tratamiento × accesión.

Longitud de raíz (LR)

Para esta variable, el tratamiento con extracto de algas (T5), presentó la mayor longitud promedio de raíz con 6.27 cm, seguido por *Trichoderma* sp. (T4), con 5.44 cm y el testigo (T1), con 5.24 cm, el tratamiento con ácido giberélico (T2), alcanzó 4.87 cm y el de agua de coco (T3), presentó el valor más bajo con 0.50 cm. Para el desarrollo radicular el uso de algas marinas es más favorable que el uso de agua de coco puesto que este último limitó el crecimiento de la raíz (Tabla 5).

El tratamiento con *Trichoderma* sp. aparece en los subconjuntos 2 y 3, esto indica un comportamiento intermedio con los tratamientos T1 y T2 indicando que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos agrupados (Figura 4).

Tabla 5. Comparación de medias de longitud de raíz según tratamientos pregerminativos.

	Tratamiento	N	Subconjunto		
			1	2	3
HSD Tukey	Agua de coco	125	,5081		
	Ácido giberélico	125		4,8744	
	Testigo	125		5,2480	
	<i>Trichoderma</i> sp.	125		5,4440	5,4440
	Extracto algas marinas	125			6,2760
	Sig.		1,000	,481	,124

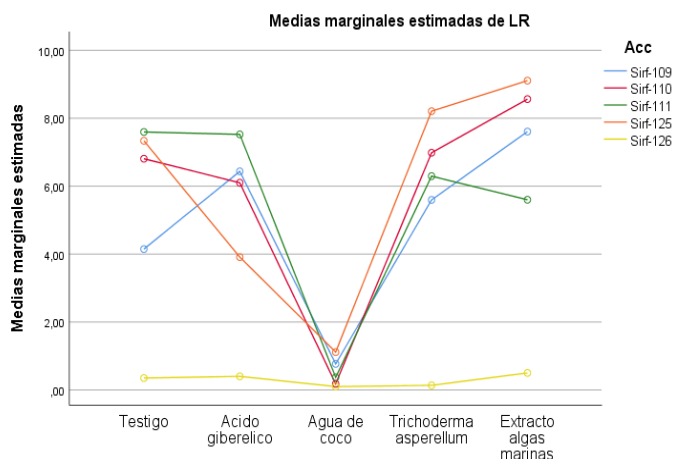


Fig. 4. Medias marginales estimadas de longitud de raíz para la interacción tratamiento x accesión.

Longitud de plúmula (LP)

El comportamiento de la longitud de plúmula fue consistente con el observado para la longitud de raíz, con diferencias altamente significativas para tratamiento ($F=73,850$; $p<0,001$), accesión ($F=93,920$; $p<0,001$), e interacción ($F=9,020$; $p<0,001$). El extracto de algas marinas (T5), produjo las plúmulas más largas, con una media de 1,632 cm, seguido por T4 (*Trichoderma* sp.), con 1,397 cm, T2 (ácido giberélico) con 1,361 cm y T1 (testigo), con 1,319 cm, conformando T4, T2 y T1 un grupo estadísticamente homogéneo según la prueba de Tukey. El agua de coco

(T3), registró la menor longitud de plúmula (0,152 cm), significativamente inferior a los demás tratamientos (Figura 5). La prueba de Tukey para accesiones mostró que SIRF-110 (1,645 cm), y SIRF-125 (1,597 cm), presentaron las plúmulas más largas, mientras que SIRF-126 (0,050 cm), tuvo significativamente la menor longitud. La interacción significativa indicó que el extracto de algas marinas fue especialmente efectivo en las accesiones SIRF-110 (2,580 cm) y SIRF-125 (2,656 cm), donde las plúmulas alcanzaron longitudes superiores a 2,5 cm.

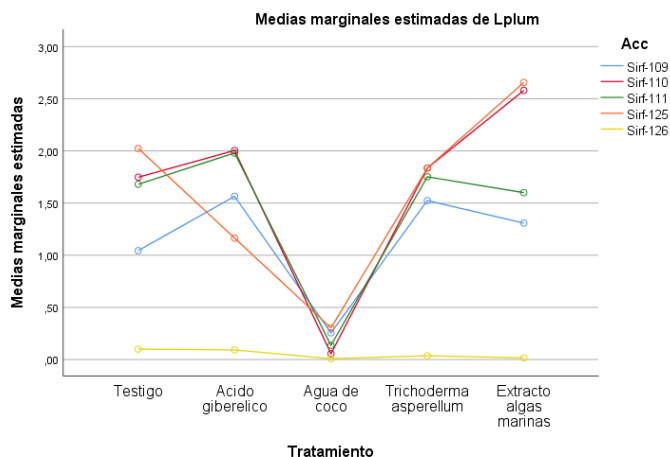


Fig. 5. Medias marginales estimadas de longitud de plúmula para la interacción tratamiento x accesión.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran que las accesiones nativas de maíz no respondieron de la misma manera a los tratamientos pregerminativos. Este comportamiento era esperable, ya que cada accesión puede presentar una condición fisiológica distinta, relacionada con su vigor, viabilidad, tiempo de conservación y calidad seminal. Por ello, la interacción significativa entre tratamiento y accesión confirma que no todos los materiales conservados en un banco de semillas reaccionan igual frente a un mismo estímulo pregerminativo.

El extracto de algas marinas fue el tratamiento que favoreció en mayor medida el crecimiento inicial de las plántulas, principalmente en la longitud de raíz y plúmula. Esta respuesta puede relacionarse con la composición de estos extractos, los cuales suelen contener compuestos bioactivos como fitohormonas, aminoácidos, polisacáridos y minerales que participan en la división celular, la elongación de tejidos y la activación del metabolismo temprano de la semilla (Gandhi et al., 2024). En este sentido, los resultados coinciden con lo reportado por Nandasena et al. (2024) y Shukla et al. (2025), quienes señalan que los bioestimulantes derivados de algas marinas pueden mejorar el crecimiento inicial y fortalecer la respuesta fisiológica de las plantas.

En el caso de *Trichoderma* sp., como tratamiento biológico se observó también un efecto favorable, con un impacto sobre la raíz. Aunque estadísticamente las diferencias con el testigo no fueron siempre significativas en todos los casos, mediante los resultados su desempeño permiten verlo

como una alternativa funcional para promover el crecimiento inicial de las plántulas. Es probable que esto se vincule con la habilidad de *Trichoderma sp.* para generar sustancias estimulantes del crecimiento, facilitar la disponibilidad de nutrientes y favorecer el sistema radicular (Cardarelli et al., 2022). Resultados en la misma trayectoria fueron reportados por Cardarelli et al., 2022 y Ahmed et al., 2025, quienes indicaron que este género favorece el vigor de las semillas y el desarrollo temprano de las plántulas mediante la producción de hormonas auxinas y la solubilización de nutrientes en el medio.

En el caso del ácido giberélico, su comportamiento fue cercano al del testigo, particularmente en la formación de plántulas normales y en las variables de crecimiento. Esto hace pensar que, bajo las condiciones del ensayo, la concentración empleada no logró un estímulo adicional evidente frente al agua destilada. No obstante, tampoco se registraron efectos adversos, de modo que su respuesta puede calificarse como estable. Se sabe que el ácido giberélico participa en la activación de procesos metabólicos durante la germinación; sin embargo, su eficacia está condicionada por factores como la dosis, el tiempo de imbibición y el estado fisiológico de la semilla (Gnawali & Subedi, 2021; Timsina & Marahatta, 2024).

Por otro lado, el agua de coco fue el tratamiento con la respuesta más desfavorable, al no registrar plántulas normales y presentar los valores más bajos de longitud de raíz y plúmula. A pesar de que este sustrato natural contiene citoquininas, azúcares, minerales y otros compuestos con potencial bioestimulante (Yong et al., 2009), su efecto varía en función de la concentración utilizada y la sensibilidad del material vegetal. En este estudio, la respuesta negativa podría explicarse por una concentración excesiva, que habría generado un ambiente osmótico poco favorable para la imbibición y el desarrollo normal de la plántula (Carganilla et al., 2025). Cabe destacar que este resultado contrasta con lo reportado por Lakmali & Seran (2022), quienes observaron efectos positivos del agua de coco en okra, lo cual pone de manifiesto que su aplicación debe ajustarse según la especie, la dosis y las condiciones fisiológicas del material evaluado.

La accesión S1RF-126 presentó germinación deficiente, gran cantidad de semillas duras, frescas y muertas indicando que el material genético está muy deteriorado, esta accesión necesita atención prioritaria dentro del banco con otro tipo de tratamientos para evaluar su viabilidad o en caso de necesitar técnicas de rescate de embriones.

CONCLUSIONES

Las accesiones nativas de maíz conservadas en el Banco de Semillas de la UTMACH mostraron diferencias en su capacidad germinativa y en el crecimiento inicial de las plántulas, lo que evidencia que la respuesta estuvo influida tanto por el tratamiento pregerminativo aplicado como por la accesión evaluada. Las accesiones S1RF-109, S1RF-110, S1RF-111 y S1RF-125 mantuvieron porcentajes de germinación aceptables, en tanto que S1RF-126 exhibió una viabilidad reducida, con valores entre el 16 % y el 40 %, además de mayores porcentajes de semillas duras, frescas

y muertas, por lo que debe considerarse prioritaria para procesos de regeneración

El extracto de algas marinas fue el tratamiento con mejor respuesta en el desarrollo inicial de las plántulas, al registrar los mayores valores de longitud de raíz y plúmula. *Trichoderma sp.* presentó una respuesta intermedia favorable, especialmente en el crecimiento radicular, mientras que el ácido giberélico mantuvo un comportamiento similar al testigo. En contraste, el agua de coco mostró un efecto desfavorable bajo las condiciones evaluadas, al registrar 0% de plántulas normales y los menores valores de longitud de raíz y plúmula.

Se considera que el extracto de algas marinas y *Trichoderma sp.* son las mejores alternativas pregerminativas para impulsar el crecimiento de las accesiones que tengan viabilidad fisiológica aceptable, se considera ampliar los ensayos realizados a un mayor número de accesiones que reposan en el banco con la finalidad de consolidar los protocolos de conservación y posterior siembra en campo.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses de carácter financiero, institucional, laboral, personal o académico que haya influido en el desarrollo, análisis, redacción o publicación del presente artículo.

Contribuciones de los autores

Karen Geanella Miranda Ordóñez: Investigación, Redacción Del Manuscrito Y Toma De Datos.

Ivanna Gabriela Tuz Guncay: Investigación, Redacción Del Manuscrito Y Revisión Del Artículo.

José Nicasio Quevedo Guerrero: Provisión De Material Vegetal Y Análisis Estadístico De Los Datos.

Edwin Andrés Arias Farez: Investigación, Toma De Datos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, A., Eid, H., Fatouh, H., Saleh, R., & Ibrahim, H. (2025). Evaluation of *Trichoderma* bio-control agents and pre-cultivation seed treatments for the control of *Cephalosporium maydis* causing late wilt in maize (*Zea mays* L.). *BMC Plant Biology*, 25, 801. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06881-4>
- Cardarelli, M., Woo, S. L., Roupael, Y., & Colla, G. (2022). Seed treatments with microorganisms can have a bio-stimulant effect by influencing germination and seedling growth of crops. *Plants*, 11(3), 259. <https://doi.org/10.3390/plants11030259>
- Carganilla, J. S., Aquino, J. T., Dinay-og, J. J., Cumahling, G. J. L., & Valdez, M. T. (2025). Efficacy of coconut water as a seed priming agent for enhancing germination and emergence of rice. *Journal of Interdisciplinary Perspectives*, 3(11), 199–205. <https://doi.org/10.69569/jip.2025.663>

- Cevallos-Cevallos, J. R., Morales, J., & Ponce, C. (2022). Almacenamiento de semillas de interés agrícola en banco de semillas. *DATEH-UTC*, 3(1), 45-56. <https://investigacion.utc.edu.ec/index.php/dateh/article/view/826>
- FAO/Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2022). *Normas para bancos de germoplasma*. <https://www.fao.org/4/i3704s/i3704s.pdf>
- Gandhi, G., Gopalakrishnan, V. A. K., & Ghosh, A. (2024). Response of maize to seed priming with seaweed extracts and plant growth promoting rhizobacteria. *Journal of Applied Phycology*, 36, 2961–2978. <https://doi.org/10.1007/s10811-024-03306-x>
- Gnawali, A., & Subedi, R. (2021). Gibberellic acid priming enhances maize seed germination under low water potential. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 22(1), 17–26. <https://doi.org/10.21082/ijas.v22i1.482>
- Guzzon, F., Gianella, M., Velazquez Juarez, J. A., Sanchez Cano, C., & Costich, D. E. (2021). Seed longevity of maize conserved under germplasm bank conditions for up to 60 years. *Annals of Botany*, 127(6), 775–785. <https://doi.org/10.1093/aob/mcab009>
- ISTA. (2023). *International Rules for Seed Testing*. International Seed Testing Association. <https://www.seedtest.org>
- Khoury, C. K., Sotelo, S., & Amariles, D. (2022). State of ex situ conservation of landrace groups of 25 major crops. *Nature Plants*, 8, 491-503. <https://doi.org/10.1038/s41477-022-01144-8>
- [Lakmali, K. N. D., & Seran, T. H. \(2022\). Impact of seed priming with king coconut water on growth and yield of okra \(Abelmoschus esculents L.\). *Journal of Food and Agriculture*, 15\(2\), 27–46. <https://doi.org/10.4038/jfa.v15i2.5271>](https://doi.org/10.4038/jfa.v15i2.5271)
- Lutts, S., Benincasa, P., Wojtyla, L., Kubala, S. S., Pace, R., Lechowska, K., Quinet, M., & Garnczarska, M. (2016). Seed priming: New comprehensive approaches for an old empirical technique. In S. Araújo & A. Balestrazzi (Eds.), *New challenges in seed biology: Basic and translational research driving seed technology*. InTech. <https://doi.org/10.5772/64420>
- Nandasena, K., Seneweera, S., & Bhandari, S. (2024). Seaweed-derived biostimulants for sustainable crop production. *Biotechnology Advances*, 72, 108319. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2024.108319>
- Rhaman, M. S. (2025). Seed priming before the sprout: Revisiting an established technique for stress-resilient germination. *Seeds*, 4(3), 29. <https://doi.org/10.3390/seeds4030029>
- Shukla, P. S., Mantin, E. G., Adil, M., Bajpai, S., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2025). Biostimulant-induced enhancement of germination and early growth traits in purple maize. *Research on Crops*, 26(3), 521-530. <https://gauravpublications.com/journal/research-on-crops/volume-26/issue-3-september-2025/ROC-1223>
- Timsina, D., & Marahatta, S. (2024). Assessment of different seed priming agents on germination and biomass production of hybrid maize at Rampur, Nepal. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 2415388. <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2415388>
- Yong, J. W. H., Ge, L., Ng, Y. F., & Tan, S. N. (2009). The chemical composition and biological properties of coconut (Cocos nucifera L.) water. *Molecules*, 14(12), 5144-5164. <https://doi.org/10.3390/molecules14125144>