

## Efecto del Extracto de Algas Marinas (*Macrocystis pyrifera* / *Gelidium robustum*) Sobre la Calidad Fisiológica de Semillas de Maíz Azul (*Zea mays* L.) Almacenadas por Dos Periodos

## Effect of Seaweed Extract (*Macrocystis pyrifera* / *Gelidium robustum*) on the Physiological Quality of Blue Corn (*Zea mays* L.) Seeds Stored for Two Periods

Maria Elena Uribe-Orozco<sup>1</sup> , Dagoberto Durán-Hernández<sup>1</sup> ,  
Onécimo Grimaldo-Juárez<sup>1</sup> , Marisol Galicia-Juárez<sup>1</sup> , Ulin Antobelli Basilio-Cortes<sup>1</sup> ,  
Daniel González-Mendoza<sup>1</sup> y Gamaliel Munguía-Cariño<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas. Carretera a Delta s/n, Ejido Nuevo León. 21705 Mexicali, Baja California, México; (M.E.U.O.), (D.D.H.), (O.G.J.), (M.G.J.), (U.A.B.C.), (D.G.M.), (G.M.C.).

\* Autor para correspondencia: ddurn@uabc.edu.mx

### RESUMEN

Los extractos de algas marinas son una alternativa y tendencia sustentable para la agricultura. Se evaluó el efecto del extracto de algas marinas NPKelp® sobre la germinación y calidad de plántulas de maíz azul (*Zea mays* L., raza Tuxpeño), a partir de semillas almacenadas durante 6 y 18 meses. Se contemplaron seis tratamientos con diferentes concentraciones del extracto (0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 y 2.0% v/v) en pruebas de germinación. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación (PG), índice de velocidad de germinación (IVG), longitud de plúmula (LP), longitud de raíz principal (LRP), número de raíces secundarias (NRS), peso fresco total (PFT) y peso seco total (PST). Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ), en el software SPSS. El tratamiento 5 presentó los valores más altos de PG (98.67 y 100%), y el tratamiento 3 en IVG (22.34 y 10.22), en ambos periodos de almacenamiento. Asimismo, el tratamiento 2 obtuvo los valores más altos en LP (5.83 y 6.10 cm), LRP (16.63 y 15.98 cm), PFT (11.69 y 10.44 g) y PST (1.71 y 1.69 g), finalmente los tratamientos 4 y 5 destacaron en NRS con valores de 4.41 y 3.73. Las concentraciones de 1.6 y 2.0% redujeron algunas variables, sugiriendo un posible efecto inhibitorio. El extracto mejoró las variables evaluadas, por lo que, representa una alternativa biotecnológica viable para el manejo de semillas de maíz azul con valor genético y uso en prácticas agrícolas sostenibles.

**Palabras clave:** índice de velocidad de germinación, macroalga, NPKelp®, porcentaje de germinación.

### SUMMARY

Marine algae extracts represent a sustainable alternative and an emerging trend in agriculture. The effect of the marine algae extract NPKelp® on the germination and seedling quality of blue maize (*Zea mays* L., Tuxpeño race) was evaluated using seeds stored for 6 and 18 months. Six treatments with different extract concentrations (0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, and 2.0% v/v) were evaluated in germination tests. The variables assessed were germination percentage (GP), germination speed index (GSI), plumule length (PL), primary root length (PRL), number of secondary roots (NSR), total fresh weight (TFW), and total dry weight (TDW). Data were analyzed using analysis of variance and mean comparison with Tukey's test ( $p < 0.05$ ) using SPSS software. Treatment 5 showed the highest GP values (98.67% and 100%), whereas Treatment 3



#### Cita recomendada:

Uribe-Orozco, M. E., Durán-Hernández, D., Grimaldo-Juárez, O., Galicia-Juárez, M., Basilio-Cortes, U. A., González-Mendoza, D., & Munguía-Cariño, G. (2026). Efecto del Extracto de Algas Marinas (*Macrocystis pyrifera* / *Gelidium robustum*) Sobre la Calidad Fisiológica de Semillas de Maíz Azul (*Zea mays* L.) Almacenadas por Dos Periodos. *Terra Latinoamericana*, 44, 1-9. e2411. <https://doi.org/10.28940/terralatinoamericana.v44i.2411>

Recibido: 12 de septiembre de 2025.

Aceptado: 1 de diciembre de 2025.

Artículo. Volumen 44.

Marzo de 2026.

Editor de Sección:

Dr. Luis Hernández Adame

Editor Técnico:

Dr. José Gregorio Joya Dávila



**Copyright:** © 2026 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

showed the highest GSI values (22.34 and 10.22) in both storage periods. Likewise, Treatment 2 obtained the highest values for PL (5.83 and 6.10 cm), PRL (16.63 and 15.98 cm), TFW (11.69 and 10.44 g), and TDW (1.71 and 1.69 g). Finally, Treatments 4 and 5 showed the highest NSR values (4.41 and 3.73). Concentrations of 1.6% and 2.0% reduced some variables, suggesting a possible inhibitory effect. The extract improved the evaluated variables and therefore represents a viable biotechnological alternative for managing genetically valuable blue maize seeds and promoting their use in sustainable agricultural practices.

**Index words:** *germination percentage, macroalgae, NPKelp® germination speed index.*

## INTRODUCCIÓN

Las macroalgas marinas se clasifican según su pigmentación en tres grupos: verdes (Chlorophyta), pardas (Ochrophyta) y rojas (Rhodophyta). Estas diferencias se deben a la presencia de distintos pigmentos: clorofila a y b en las verdes, carotenoides y fucoxantinas en las pardas, y ficobilinas junto con  $\beta$ -carotenos en las rojas (Arokia, Thriunavukkarasu, Joseph y Aruni, 2020; Mateo-Cid, Mendoza-González y Hernández-Casas, 2019). El uso de ciertas especies de algas como alimento se remonta a la antigüedad, siendo una práctica común en países asiáticos (Osório *et al.*, 2020), y como insumo natural para abonar los suelos, incrementando la producción agrícola con un enfoque sustentable (Durán-Hernández, Uribe-Orozco, Mateo-Cid y González-Mendoza, 2022). Actualmente, se elaboran extractos con diferentes macroalgas y combinación de estas, siendo las algas pardas las preferidas por el tamaño y rendimiento en masa. Al respecto, las algas tienen diferentes compuestos bioactivos; destacando las auxinas, giberelinas, ácido abscísico, citoquininas, entre otros, las cuales actúan como un bioestimulante (Godlewska Michalalak, Tuhy y Chojnacka, 2016). En este contexto, el uso de extractos algales ha demostrado efectos positivos en la germinación de semillas, así como en el crecimiento de frutos en diversos cultivos (Morales-Aparicio, Ayala-Niño, Mendoza-González y Mateo-Cid, 2025). A bajas concentraciones, pueden estimular la germinación de semillas y aumentar el vigor de las plántulas (Hernández-Herrera, Santacruz-Ruvalcaba, Zanudo-Hernández y Hernández-Carmona, 2016; Vijayakumar *et al.*, 2019); sin embargo, a concentraciones elevadas pueden inhibir la germinación, como se reporta en los cultivos de pimienta (Vijayakumar *et al.*, 2019) y lechuga (Silva, Bahcevandziev y Pereira, 2019). Debido al potencial de estos compuestos, resulta pertinente evaluar el efecto del extracto comercial de algas marinas (NPKelp®) sobre la calidad fisiológica de semillas de maíz azul, actualmente no se han encontrado antecedentes sobre esta relación. Las variedades criollas de maíz azul (*Zea mays* L.) tiene un mayor valor nutricional atribuible al contenido de antocianinas, compuestos con propiedades antioxidantes para atrapar radicales libres y contribuir a la reducción del colesterol y triglicéridos (Durán-Hernández, Gutiérrez Hernández, Arellano Vázquez, García Ramírez y Virgen Vargas, 2011; Agama-Acevedo *et al.*, 2005). No obstante, estas semillas presentan desafíos importantes para su producción y almacenamiento, debido a la alta susceptibilidad a plagas y a la rápida pérdida de vigor y viabilidad (Durán, 2008<sup>1</sup>).

La raza de maíz Tuxpeño se emplea en programas de mejoramiento genético por su variabilidad genética y capacidad de cruzamiento (Wen, Franco, Chávez, Yan y Taba, 2012). Destaca por su adaptabilidad a distintos ambientes, alto rendimiento, y calidad de grano, atributos que favorecen su uso en la nixtamalización (López-Morales *et al.*, 2017), así como otras variedades de maíz azul, con las que se elaboran productos tradicionales como tortillas, atoles, tlacoyos, totopos y pinole (Díaz-Huacuz, Ávila, Espinosa y Manjarrez, 2017), además de tostadas, chilaquiles y su consumo directo como elote.

Por ello, este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del extracto de algas marinas NPKelp® sobre la germinación y la calidad de plántulas de una variedad criolla de maíz azul, utilizando semillas almacenadas durante 6 y 18 meses.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar Donde se Desarrolló el Experimento

La investigación se desarrolló durante el periodo anual 2023 y 2025 en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales del Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), ubicada en el Valle de Mexicali, Ejido Nuevo León, Mexicali, B.C., México.

<sup>1</sup> Durán, D. (2008). *Caracterización fisiológica y molecular de semillas de maíz azul*. (Tesis de maestría en ciencias). Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional. (UPIBI-IPN). México, DF.

## Semillas de Maíz Azul y Almacenamiento

Se utilizaron semillas de una variedad criolla de maíz (*Zea mays* L.) de color azul, de la raza Tuxpeño, cosechadas en el estado de Hidalgo. La muestra de semillas se uniformizó con base en su sanidad y tamaño, descartándose aquellas que presentaron daños físicos.

Las semillas se colocaron en un contenedor de plástico y se sometieron a un tratamiento con  $Al_2S_3$  durante 24 h con la finalidad de eliminar insectos. Posteriormente, se almacenaron a  $25 \pm 2$  °C, en oscuridad, hasta su uso.

## Tratamientos

En el ensayo de germinación se evaluaron seis tratamientos: un testigo con agua destilada (T1), y cinco tratamientos (T2 a T6) con concentraciones de 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 y 2.0% de NPKelp®, un extracto comercial elaborado a partir de las macroalgas *Macrocystis pyrifera* y *Gelidium robustum*, el cual fue diluido en agua destilada. A cada tratamiento se le realizaron mediciones de pH y conductividad eléctrica (CE) con el fin de caracterizar las condiciones químicas de las soluciones aplicadas.

## Establecimiento del Ensayo

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar (DCA), con tres repeticiones por tratamiento y 25 semillas por unidad experimental, empleándose un total de 450 semillas. Las semillas de maíz fueron tratadas con una solución de hipoclorito de sodio al 5% durante 10 minutos y luego se enjuagaron cuatro veces con agua destilada estéril.

La germinación se llevó a cabo en contenedores de plástico, previamente se colocaron dos servitoallas. Las semillas se distribuyeron de forma equidistante en cinco filas con cinco semillas cada una, y se cubrieron con dos servitoallas adicionales, las cuales fueron humedecidas con 60 mL de la solución correspondiente a cada tratamiento. Los recipientes se colocaron en una cámara de incubación a una temperatura de  $25 \pm 2$  °C, con un fotoperiodo de 16 horas luz y 8 horas oscuridad, utilizando lámparas LED con un flujo luminoso de 1600 lúmenes (lm) y una temperatura de color de 6500 K (luz fría), durante un periodo de siete días.

## Variables de Estudio

Se realizó diariamente el conteo de semillas germinadas y no germinadas durante un periodo de siete días. A las semillas germinadas se les midió la longitud de plúmula, raíz principal, así como el número de raíces secundarias al cuarto y séptimo día. Posteriormente, se obtuvo el peso fresco y seco de las unidades experimentales y repeticiones. Con los datos obtenidos se determinó: porcentaje de germinación, índice de velocidad, longitud de plúmula, raíz principal, número de raíces secundarias, peso fresco y seco de plántulas, así como la evaluación comparativa por tiempo de almacenamiento.

## Porcentaje de Germinación (%G) de Semillas de Maíz Azul

Se consideró como germinada a toda semilla cuya radícula tuviera al menos 2 mm de longitud, conforme a lo establecido por la norma oficial de la ISTA (2016). El porcentaje de germinación se calculó utilizando la ecuación propuesta por Sampayo-Maldonado *et al.* (2017).

$$\%G = \frac{n}{N} * 100 \quad (1)$$

Dónde: n, número de semillas germinadas; N, número total de semillas a germinar.

## Índice de velocidad de germinación (IVG) de Semillas de Maíz Azul

Se realizaron observaciones cada 24 horas durante un periodo de siete días para registrar el número de semillas germinadas. El IVG se calculó con la ecuación propuesta por Calzada-López, Kohashi-Shibata, Uscanga-Mortera, García-Esteva y Yáñez-Jiménez (2014).

$$IVG = \sum_{i=1}^n \frac{Gi}{Ni} \quad (2)$$

Donde  $G_i$  es el número de semillas germinadas en el tiempo  $i$ ;  $N_i$ , tiempo  $i$  (días) desde que las unidades experimentales se colocaron en el cuarto de incubación.

### Longitud de Plúmula Raíz Principal, y Número de Raíces Secundarias

La longitud de plúmula se determinó en los días cuatro y siete, se midió desde el entrenudo del hipocótilo hasta la parte apical de la plúmula, utilizando un vernier digital (Mitutoyo, Japón) para su medición. Por otra parte, en la región radicular se cuantificó la longitud de raíz principal y se realizó el conteo de raíces secundarias.

### Peso Fresco y Seco de Plántulas de Maíz Azul

El peso fresco de las plántulas de maíz de cada tratamiento y sus repeticiones se determinó utilizando una balanza analítica (OHAUS-PIONEER, USA). Posteriormente, la biomasa de cada tratamiento se colocó en bolsas de papel Kraft, previamente perforadas e identificadas con el nombre del tratamiento y repeticiones. Para determinar el peso seco de las plántulas de maíz, las muestras se sometieron a un proceso de secado en un horno (Lab-Line, Ambi-Low Chamber, Livonia, MI, EE. UU) a 75 °C durante 72 horas, según el protocolo descrito por Galicia-Juárez *et al.* (2017), y se registró el peso seco.

### Evaluación Comparativa por Tiempo de Almacenamiento

La primera evaluación fisiológica se realizó con las semillas de maíz azul almacenadas durante seis meses. Posteriormente, para las semillas con un tiempo de 18 meses de almacenamiento, se aplicaron las mismas metodologías descritos anteriormente del mismo ciclo de cultivo. Esta comparación permitió analizar los efectos del almacenamiento sobre la germinación, índice de velocidad de germinación (IVG), así como la cuantificación de la longitud de plúmula, raíz principal, número de raíces secundarias, peso fresco y seco de las plántulas. Estas variables permitieron comparar el vigor y viabilidad de las semillas en función del efecto del extracto de algas marinas y del tiempo de almacenamiento.

### Análisis de Datos

Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA), seguido de una comparación de medias utilizando la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ), con el software estadístico IBM SPSS Statistics, versión 23 (IBM SPSS Statistics, 2015)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de Extractos (pH y CE)

Los tratamientos no presentaron diferencias significativas en los valores de pH (Cuadro 1), los cuales se mantuvieron entre 5.26 y 5.30, lo que indica una solución moderadamente ácida sin importar la concentración del extracto aplicado. En contraste, la conductividad eléctrica (CE) mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), incrementándose proporcionalmente con la concentración del extracto, en un rango de 0.26 a 1.26  $\text{mS cm}^{-1}$ , con proporciones de 1:250 a 1:50. En este contexto, Hernández-Herrera *et al.* (2023) evaluaron cuatro extractos de algas marinas: *Eisenia arborea* y *Sargassum horridum*, que presentaron un pH alcalino entre 7.5 y 7.20 y baja CE con valores de entre 0.68 y 0.86  $\text{mS cm}^{-1}$ , mientras que los de *Macrocystis pyrifera* y *Padina caulescens* mostraron valores de pH más ácidos en un rango de 5 a 5.9 y una CE más alta de 2.5 a 2.8  $\text{mS cm}^{-1}$ , respectivamente). Los autores indican que los tratamientos evaluados mostraron un efecto positivo en la germinación de semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*), con excepción del extracto de *S. horridum*, el cual presentó un efecto inhibitorio. En consecuencia, las concentraciones utilizadas en este estudio se encuentran dentro de los rangos considerados óptimos para el desarrollo inicial de las plántulas.

### Efecto del Extracto sobre la Germinación e Índice de Velocidad

El porcentaje de germinación (PG) de las semillas de maíz azul no presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos a los 6 meses de almacenamiento, registrando valores superiores al 90% en todos los casos.

**Cuadro 1. Tratamientos evaluados en la germinación de las semillas de maíz azul**  
**Table 1. Treatments evaluated in the germination of blue corn seeds.**

| Tratamientos | pH     | CE                  | Proporción |
|--------------|--------|---------------------|------------|
|              |        | mS cm <sup>-1</sup> |            |
| T1           | 5.26 a | 0.01 f              | -          |
| T2           | 5.30 a | 0.26 e              | 1:250      |
| T3           | 5.30 a | 0.52 d              | 1:125      |
| T4           | 5.30 a | 0.84 c              | 1:83.33    |
| T5           | 5.30 a | 1.11 b              | 1:62.5     |
| T6           | 5.30 a | 1.26 a              | 1:50       |

T1 = testigo con solo agua; T2 a T6 = 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 y 2.0% v/v de extracto de algas; pH = potencial de hidrógeno; CE = conductividad eléctrica (mS cm<sup>-1</sup>); las letras diferentes en la misma columna presentan diferencias significativas, Tukey ( $p < 0.05$ ).

T1 = control with water only; T2 to T6 = 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, and 2.0% v/v of algae extract; pH = hydrogen potential; EC = electrical conductivity (mS cm<sup>-1</sup>); different letters in the same column indicate significant differences, Tukey test ( $p < 0.05$ ).

Lo que indica que las semillas mantenían una alta viabilidad, independientemente del tratamiento aplicado (Cuadro 2). No obstante, en las semillas almacenadas por 18 meses, se observó una disminución en el PG, en el tratamiento control con 76%, mientras que en los tratamientos T3 y T5 se incrementó el PG con 97.33% y 100% respectivamente. Esto evidenció un efecto positivo del extracto sobre la germinación de semillas con menor viabilidad asociado al almacenamiento, lo cual puede atribuirse a la presencia de compuestos bioactivos en los extractos de algas, como auxinas, giberelinas, citoquininas, los cuales favorecen procesos fisiológicos clave en la germinación (Sing *et al.*, 2016; Kumar, Vanlalzarzova, Sridhar y Baluswami, 2012). Además, el biocebado con extractos de algas ha demostrado mejorar la germinación y el vigor en semillas sometidas a envejecimiento natural o estrés (Nguyen y Sundareswaran, 2019).

En cuanto al índice de velocidad de germinación (IVG) presentó diferencias ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos evaluados. Por otra parte, en las semillas almacenadas durante seis meses, los tratamientos T3, T5 y T6 mostraron los valores más altos de semillas germinadas por día con 22.34, 22.33 y 21.50, respectivamente, en comparación con el control de 18.33. En las semillas con 18 meses de almacenamiento, los tratamientos T3 y T4 mantuvieron los IVG más altos con 10.22 y 9.50, mientras que el control presentó el valor más bajo con 7.05 semillas germinadas por día.

**Cuadro 2. Porcentaje e índice de velocidad de germinación de semillas de maíz azul con extracto de algas.**  
**Table 2. Germination percentage and germination rate index of blue corn seeds with seaweed extract.**

| Tratamientos    | PG      | IVG      | PG       | IVG     |
|-----------------|---------|----------|----------|---------|
|                 | 6 meses |          | 18 meses |         |
| T1              | 97.33 a | 18.33 b  | 76 b     | 7.05 c  |
| T2              | 97.32 a | 20.83 ab | 94.67 ab | 9.50 ab |
| T3              | 96.00 a | 22.34 a  | 97.33 a  | 10.22 a |
| T4              | 93.33 a | 20.00 ab | 93.33 ab | 9.50 ab |
| T5              | 98.67 a | 22.33 a  | 100 a    | 9.27 ab |
| T6              | 92.00 a | 21.50 a  | 93.33 ab | 8.16 bc |
| CV promedio (%) | 3.41    | 4.66     | 6.14     | 7.33    |

T1 = testigo con solo agua; T2 a T6 = 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 y 2.0% v/v de extracto de algas; PG = porcentaje de germinación; IVG = índice de velocidad de germinación; las letras diferentes en la misma columna presentan diferencias significativas, Tukey ( $p < 0.05$ ); CV (%) = coeficiente de variación.

T1 = control with water only; T2 to T6 = 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, and 2.0% v/v seaweed extract; PG = germination percentage; IVG = germination rate index; different letters in the same column indicate significant differences, Tukey ( $p < 0.05$ ); CV (%) = coefficient of variation.

Por lo resultados obtenidos, inferimos que el extracto de algas contiene compuestos bioactivos capaces de estimular la actividad metabólica en las semillas para promover la germinación y el IVG. Al respecto, Hamed, El-Rhman, Abdel-Raoufy y Ibraheem (2018) reportan en la composición química de las macroalgas auxinas, citoquininas y giberelinas, las cuales desempeñan diversas funciones biológicas. Al aplicarse el extracto, éste activa enzimas hidrolíticas como  $\alpha$ -amilasa, proteasas y lipasas, movilizandando las reservas, proceso regulado por fitohormonas como las giberelinas (Craigie, 2011; Nabti, Jha y Hartmann, 2017; Kumar *et al.*, 2012), promoviendo una germinación rápida, eficiente y vigorosa (Sing *et al.*, 2016). En este contexto, Espinosa-Antón, Gómez-Pando y Álvarez-Castro (2020) describen sobre la  $\alpha$ -amilasa sintetizada en la capa de aleurona y su expresión génica está regulada por el ácido giberélico ( $AG_3$ ), es clave para desdoblar el almidón del endospermo en azúcares simples, los cuales son utilizados como fuente de energía durante la germinación (Nabti *et al.*, 2017). Esta acción podría explicar el aumento del IVG en semillas tratadas con el extracto, especialmente tras periodos largos de almacenamiento. Por ello, se considera que las giberelinas son las principales reguladoras del inicio de la germinación.

### Efecto del Extracto en el Desarrollo de Plúmula y Sistema Radicular en Plántulas

La aplicación del extracto de algas marinas (NPKelp®) influyó significativamente ( $p < 0.05$ ) en el desarrollo de las plántulas de maíz azul, evaluado mediante la longitud de plúmula (LP), longitud de raíz principal (LRP) y número de raíces secundarias (NRS), al cuarto y séptimo día de germinación (Cuadro 3).

En las semillas almacenadas por seis meses, en el cuarto día el T2 registró los valores más altos para LP, LRP y NRS con 2.16 cm, 7.45 cm y 2.97 cm, respectivamente y, para el séptimo día, se mantuvieron resultados superiores en LP con 5.83 cm y LRP con 15.63 cm.

Por otra parte, en la evaluación de las semillas almacenadas por 18 meses, el T2 también destacó con los valores más altos de LP con 2.60 cm y 6.10 cm y LRP con 7.39 cm y 15.98 cm para el cuarto y séptimo día, respectivamente, lo que sugiere una respuesta consistente del extracto sobre las semillas de maíz azul, incluso tras un almacenamiento por 18 meses (Cuadro 4).

En cuanto al número de raíces secundarias (NRS), a los 18 meses, los tratamientos T4 y T5 mostraron incrementos notables en el séptimo día con 3.41 y 3.73 raíces, respetivamente, superando el tratamiento T2 en ese parámetro.

Estos resultados muestran que el extracto de algas usado promueve el crecimiento radicular y aéreo en etapas tempranas del desarrollo vegetativo, efecto atribuible al contenido de fitohormonas, según lo señalan las investigaciones consultadas. Las cuales regulan procesos fisiológicos clave en las plantas (Craigie, 2011). Las auxinas estimulan la elongación celular, formación de raíces, mientras que las giberelinas activan enzimas hidrolíticas como la  $\alpha$ -amilasa que moviliza las reservas del endospermo para impulsar el crecimiento embrionario (Espinosa-Antón *et al.*, 2020; Nabti *et al.*, 2017). Además, estos reguladores de crecimiento estimulan la germinación de las semillas, ruptura de la latencia, y promueven un crecimiento uniforme de las plántulas de *Theobroma cacao* L. (Freire y Celi, 2024).

**Cuadro 3. Variables morfológicas de germinación a los 6 meses de almacenamiento.**  
**Table 3. Morphological germination variables at 6 months of storage.**

| Tratamientos    | LP     |        | LRP    |         | NRS    |         |
|-----------------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
|                 | Día 4  | Día 7  | Día 4  | Día 7   | Día 4  | Día 7   |
|                 | cm     |        |        |         | conteo |         |
| T1              | 0.99 e | 4.70 c | 5.12 d | 11.84 c | 2.22 c | 3.53 e  |
| T2              | 2.16 a | 5.83 a | 7.45 a | 15.63 a | 2.97 a | 4.08 bc |
| T3              | 2.01 b | 5.16 b | 7.02 b | 14.93 b | 2.82 a | 4.01 c  |
| T4              | 1.73 c | 4.31 d | 5.86 c | 12.15 c | 2.28 c | 4.41 a  |
| T5              | 1.38 d | 3.92 e | 5.14 d | 10.95 d | 2.65 b | 3.75 d  |
| T6              | 1.45 d | 4.63 c | 5.42 d | 11.26 d | 2.66 b | 4.20 b  |
| CV promedio (%) | 49.56  | 39.66  | 33.79  | 27.48   | 38.83  | 27.00   |

T1 = testigo con solo agua; T2 a T6 = 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 y 2.0% v/v de extracto de algas; LP = longitud de plúmula; LRP = longitud de raíz principal; NRS = número de raíces secundarias; evaluadas el día 4 y 7; las letras diferentes en la misma columna presentan diferencias significativas, Tukey ( $p < 0.05$ ); CV (%) = coeficiente de variación. T1 = control with water only; T2 to T6 = 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, and 2.0% v/v seaweed extract; LP = plumule length; LRP = primary root length; NRS = number of secondary roots; evaluated on days 4 and 7; different letters in the same column indicate significant differences, Tukey ( $p < 0.05$ ); CV (%) = coefficient of variation.



**Cuadro 4. Variables morfológicas de germinación a los 18 meses de almacenamiento.**  
**Table 4. Morphological germination variables at 18 months of storage.**

| Tratamientos    | LP      |         | LRP     |         | NRS     |          |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
|                 | Día 4   | Día 7   | Día 4   | Día 7   | Día 4   | Día 7    |
|                 | cm      |         |         |         | Conteo  |          |
| T1              | 0.85 e  | 4.88 bc | 4.60 c  | 11.88 b | 2.41 b  | 2.60 c   |
| T2              | 2.60 a  | 6.10 a  | 7.39 a  | 15.98 a | 3.01 a  | 3.09 abc |
| T3              | 2.44 ab | 5.36 ab | 6.96 ab | 14.47 a | 2.85 a  | 3.01 abc |
| T4              | 2.15 bc | 4.61 ab | 5.82 bc | 12.45 b | 2.32 b  | 3.41 ab  |
| T5              | 1.76 d  | 4.24 c  | 5.03 c  | 11.29 b | 2.62 ab | 3.73 a   |
| T6              | 1.84 cd | 4.60 bc | 5.36 c  | 11.56 b | 2.61 ab | 3.20 ab  |
| CV promedio (%) | 43.53   | 33.40   | 44.00   | 28.90   | 37.70   | 36.00    |

T1 = testigo con solo agua; T2 a T6 = 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 y 2.0% v/v de extracto de algas; LP = longitud de plúmula; LRP = longitud de raíz principal; NRS = conteo de número de raíces secundarias; evaluadas el día 4 y 7; las letras diferentes en la misma columna presentan diferencias significativas, Tukey ( $p < 0.05$ ); CV (%) = coeficiente de variación.

T1 = control with water only; T2 to T6 = 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, and 2.0% v/v seaweed extract; LP = plumule length; LRP = primary root length; NRS = number of secondary roots; evaluated on days 4 and 7; different letters in the same column indicate significant differences, Tukey ( $p < 0.05$ ); CV (%) = coefficient of variation.

Por otro lado, concentraciones de extracto superiores al 1.2% (T5 y T6) mostraron una disminución en el crecimiento en comparación con el T2 y T3, lo cual podría estar relacionado con un posible efecto inhibitorio a dosis elevadas. Sin embargo, en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) utilizando concentraciones bajas de extractos de algas (0.25 % y 0.5%) se incrementó el porcentaje de germinación, la longitud de las plántulas y acumulación de biomasa (Espinosa-Antón, Acosta-Calderón y Hernández-Herrera, 2025). De acuerdo con los resultados obtenidos, la concentración óptima del extracto evaluado es de 0.4% para potenciar el crecimiento de las plántulas de maíz, siendo eficiente en semillas con hasta 18 meses de almacenamiento.

### Evaluación de la Biomasa de las Plántulas de Maíz Azul Tratadas con Extracto de Algas Marinas

Los tratamientos con extracto de algas marinas influyeron significativamente ( $p < 0.05$ ) en la biomasa de las plántulas de maíz azul, medida como peso fresco total (PFT) y peso seco total (PST), a los 6 y 18 meses de almacenamiento de las semillas (Cuadro 5). En las semillas almacenadas por seis meses, los tratamientos T2 y T3 registraron los valores más altos de PFT con 11.69 g y 10.11 g y de PST con 1.71 g y 1.51 g. En las semillas almacenadas por 18 meses, los tratamientos T2 al T5 mantuvieron un mayor PFT con 10.44, 10.45, 11.37 y 11.43 g y PST de 1.69, 1.41, 1.44 y 1.43 g respectivamente, superando al tratamiento control y T6.

**Cuadro 5. Efecto del extracto de algas en la biomasa de plántulas de maíz azul.**  
**Table 5. Effect of seaweed extract on the biomass of blue corn seedlings.**

| Tratamientos    | PFT           | PST    | PFT      | PST     |
|-----------------|---------------|--------|----------|---------|
|                 | 6 meses       |        | 18 meses |         |
|                 | ----- g ----- |        |          |         |
| T1              | 7.07 f        | 1.35 c | 3.80 c   | 0.80 b  |
| T2              | 11.69 a       | 1.71 a | 10.44 a  | 1.69 a  |
| T3              | 10.11 b       | 1.51 b | 10.45 a  | 1.41 a  |
| T4              | 9.07 c        | 1.39 c | 11.37 a  | 1.44 a  |
| T5              | 7.57 e        | 1.31 d | 11.43 a  | 1.43 a  |
| T6              | .38 d         | 1.35 c | 6.33 b   | 1.21 ab |
| CV promedio (%) | 8.9           | 6.7    | 7.0      | 15.9    |

T1 = testigo con solo agua; T2 a T6 = 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 y 2.0% v/v de extracto de algas; PFT = peso fresco total; PST = peso seco total; las letras diferentes en la misma columna presentan diferencias significativas, Tukey ( $p < 0.05$ ); CV (%) = coeficiente de variación.

T1 = control with water only; T2 to T6 = 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, and 2.0% v/v of seaweed extract; FW = total fresh weight; TWW = total dry weight; different letters in the same column indicate significant differences, Tukey ( $p < 0.05$ ); CV (%) = coefficient of variation.

Estos resultados sugieren que el extracto NPKelp® contribuyó al desarrollo de biomasa en las plántulas, posiblemente por el contenido de macro y micronutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, zinc y boro. De manera similar, Tavares et al. (2020) reportaron un incremento en la biomasa de plántulas de caléndula tratadas con extracto del alga marina *Ascophyllum nodosum*. Estudios recientes en plántulas de hortalizas como tomate cherry (*Solanum lycopersicum*) y berenjena (*Solanum melongena*) tratadas con extracto de *Ascophyllum nodosum*, documentaron incrementos en la biomasa aérea y radicular (Villa e Vila et al., 2024). Por otra parte, en tomate (*Solanum lycopersicum*), se observó un efecto estimulante similar tras la aplicación de extracto de *Galaxaura rugosa*, bajo condiciones de estrés hídrico (Morales-Sierra et al., 2023), lo que refuerza el potencial de los extractos de algas marinas, incluso en escenarios adversos.

## CONCLUSIONES

El extracto de algas marinas NPKelp® mostró un efecto positivo sobre la germinación y el desarrollo de plántulas de maíz azul de raza Tuxpeño, en semillas almacenadas durante 6 y 18 meses, por lo tanto, representa una alternativa viable para mejorar la calidad fisiológica de las semillas y promover un comportamiento vigoroso de plántulas, incluso en periodos prolongados de almacenamiento. Sin embargo, se recomienda continuar con estudios enfocados en las condiciones óptimas de almacenamiento, evaluando particularmente la temperatura, con la finalidad de preservar la viabilidad de las semillas de maíz azul, así como asegurar su conservación y aprovechamiento.

## DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

## CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

## DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los datos se encuentran disponible a través del autor de correspondencia con previa solicitud razonable.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores manifiestan no tener conflictos de intereses relacionados con esta investigación.

## FINANCIACIÓN

No aplicable.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: M.E.U.O. y D.D.H.; Supervisión: M.E.U.O. y D.D.H.; Metodología: M.G.J. y O.G.J.; Investigación: G.M.C.; Escritura - preparación del borrador original: M.E.U.O.; Escritura - revisión y edición: D.D.H., U.A.B.C. y D.G.M.; Análisis formal: D.D.H., U.A.B.C. y D.G.M.; Validación: D.D.H., U.A.B.C. y D.G.M.

## AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales del Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA-UABC), por las facilidades otorgadas para la realización del estudio, al agricultor del estado de Hidalgo, por la donación de la semilla de maíz azul (quien prefirió mantener su anonimato); y a la empresa Algas Pacific®, por la donación del producto comercial NPKelp®.



## LITERATURA CITADA

- Agama-Acevedo, E., Ottenhof, M. A., Farhat, I. A., ParedesLópez, O., OrtizCereceres, J., & BelloPérez, L. A. (2005). Aislamiento y caracterización del almidón de maíces pigmentados. *Agrociencia*, 39(4), 419-429.
- Arokia, M. S., Thriunavukkarasu, R., Joseph, J., & Aruni, W. (2020). Effect of seaweed on seed germination and biochemical constituents of *Capsicum annum*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 29 101761. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101761>.
- Calzada-López, S. G., Kohashi-Shibata, J., Uscanga-Mortera, E., García-Esteva A., & Yáñez-Jiménez, P. (2014). Cardinal temperatures and germination rate in husk tomato cultivars. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 1451-1458. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i8.1102>
- Craigie, J. S. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 371-393. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9560-4>
- Díaz-Huacuz, R. S., Ávila-Perches, M. Á., Espinosa-Calderón, A., & Manjarrez-Juárez, F. J. (2017). *Producción artesanal de semilla de maíz azul en el Estado de México*. México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). ISBN 978 607 37 0827 2.
- Durán-Hernández, D., Gutiérrez Hernández, G. F., Arellano Vázquez, J. L., García Ramírez, E., & Virgen Vargas, J. (2011). Caracterización molecular y germinación de semillas de maíces criollos azules con envejecimiento acelerado. *Agronomía Mesoamericana*, 22(1), 11-20.
- Durán-Hernández, D., Uribe-Orozco, M. E., Mateo-Cid, L. E., & González-Mendoza, D. (2022). Potencial biotecnológico de las macroalgas en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 40(3), 81-88. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292022000300081>
- Espinosa-Antón, A. A., Acosta-Calderón, J. A., & Hernández-Herrera, R. M. (2025). Effect of seaweed extracts on the germination and growth of tomato seedlings. *Revista Bio Ciencias*, 12, e1797. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1797>
- Espinosa-Antón, C., Gómez-Pando, L. R., & Álvarez-Castro, A. (2020). Estimulación de enzimas en la germinación de semillas de quinua mediante ácido giberélico. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(2), 173-182. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.604>
- Freire, A. J. D., & Celi, S. K. D. (2024). Uso de fitohormonas vegetales y extractos de algas marinas en la germinación de semillas de cacao (*Theobroma cacao*) en el cantón Quindé. *Reincisol*, 3(6), 6639-6654. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(6\)6639-6654](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(6)6639-6654)
- Galicia-Juárez, M., Mendoza-Onofre, L. E., González-Hernández, V. A., Cisneros-López, M. E., Benítez-Riquelme, I., & Córdova-Téllez, L. (2017). Heterosis and combining ability of seed physiological quality traits of single cross vs. three-way sorghum hybrids. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 39(2), 175-181
- Godlewski, K., Michalak, I., Tuhy, L., & Chojnacka, K. (2016). Plant growth biostimulants based on different methods of seaweed extraction with water. *BioMed. Research International*, 2016(5973760), 1-11. <https://doi.org/10.1155/2016/5973760>
- Hamed, S. M., Abd El-Rhman, A. A., Abdel-Raouf, N., & Ibraheem, I. B. (2018). Role of marine macroalgae in plant protection & improvement for sustainable agriculture technology. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(1), 104-110.
- Hernández-Herrera, R. M., González-González, M. F., Velasco-Ramírez, A. P., Velasco-Ruvalcaba, F., & Zamora-Natera, J. F. (2023). Seaweed Extract Components Are Correlated with the Seeds Germination and Growth of Tomato Seedlings. *Seeds*, 2(4), 436-448. <https://doi.org/10.3390/seeds2040033>
- Hernández-Herrera, R. M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Zanudo-Hernández, J., & Hernández-Carmona, G. (2016) Activity of seaweed extracts and polysaccharide-enriched extracts from *Ulva lactuca* and *Padina gymnospora* as growth promoters of tomato and mung bean plants. *Journal of Applied Phycology*, 28, 2549-2560; <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0781-4>
- IBM SPSS Statistics (2015). *Statistical Package for the Social Sciences User's Guide. version 23*. Armonk, NY, USA: IBM Corp.
- ISTA (International Seed Testing Association). (2016). *International rules for seed testing*. Bassersdorf, Switzerland: International Seed Testing Association.
- Kumar, N. A., Vanlalazova, B., Sridhar, S., & Baluswami, M. (2012). Effect of liquid seaweed fertilizer of *Sargassum wightii* Grev. on the growth and biochemical content of green gram (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek). *Recent Research in Science and Technology*, 4(4), 40-45.
- López-Morales, F., Vázquez-Carrillo, M. G., Molina-Galán, J. D., García-Zavala, J. J., Corona-Torres, T., Cruz-Izquierdo, S., ... & Esquivel-Esquivel, G. (2017). Interacción genotipo-ambiente, estabilidad del rendimiento y calidad de grano en maíz Tuxpeño. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1035-1050. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.106>
- Mateo-Cid, L. E., Mendoza-González, A. C., & Hernández-Casas, C. M. (2019). Diversity of brown algae (Ochrophyta, Phaeophyceae) of sian ka'an reserve biosphere, mexican caribbean. *Pakistan Journal of Botany*, 51(1), 361-366. [https://doi.org/10.30848/PJB2019-1\(40\)](https://doi.org/10.30848/PJB2019-1(40))
- Morales-Aparicio, M. M., Ayala-Niño, F., Mendoza-González, Á. C., & Mateo-Cid, L. E. (2025). Efecto de las Harinas de *Ulva lactuca* y *Gracilaria blodgettii* Sobre las Propiedades Físicas y Químicas de un Suelo Alcalino y el Crecimiento de Acelga (*Beta vulgaris* var. *cycla*). *Terra Latinoamericana*, 43, 1-10. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.1895>
- Morales-Sierra, S., Luis, J. C., Jiménez-Arias, D., Rancel-Rodríguez, N. M., Coego, A., Rodríguez, P. L., ... & Borges, A. A. (2023). Biostimulant activity of *Galaxaura rugosa* seaweed extracts improves stress resilience and biomass in tomato seedlings via ABA signaling. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1251442. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1251442>
- Nabti, E., Jha, B., & Hartmann, A. (2017). Impact of seaweeds on agricultural crop production as biofertilizer. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14, 1119-1134. <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1202-1>
- Nguyen, Q. T., & Sundareswaran, S. (2019). Effect of seed priming with seaweed extracts on seed quality parameters in Blackgram (*Vigna mungo* L.) Cv. CO 6. *International Journal of Chemical Studies*, 7(3), 813-817.
- Osório, C.; Machado, S.; Peixoto, J.; Bessada, S.; Pimentel, F. B.; C. Alves, R. & Oliveira, M. B. P. P. (2020). Pigments Content (*Chlorophylls*, *Fucoxanthin* and *Phycobiliproteins*) of Different Commercial Dried Algae. *Separations*, 7(2), 1-14. <https://doi.org/10.3390/separations7020033>
- SampayoMaldonado, S., CastilloMartínez, C. R., JiménezCasas, M., SánchezMonsalvo, V., JassoMata, J., & LópezUpton, J. (2017). Germinación in vitro de semillas de *Cedrela odorata* L. de genotipos extintos. *Agroproductividad*, 10(8), 53-58. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.352722>
- Silva, L. D., Bahcevandziev K., & Pereira, L. (2019). Production of bio-fertilizer from *Ascophyllum nodosum* and *Sargassum muticum* (Phaeophyceae). *Journal of Oceanology and Limnology*, 37, 918-927; <https://doi.org/10.1007/s00343-019-8109-x>
- Singh, S., Singh, M. K., Pal, S. K., Trivedi, K., Yesuraj, D., Singh, C. S., ... & Ghosh, A. (2016). Sustainable enhancement in yield and quality of rain-fed maize through *Gracilaria edulis* and *Kappaphycus alvarezii* seaweed sap. *Journal of applied Phycology*, 28, 2099-2112. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0680-8>
- Tavares, A. R., dos Santos, P. L. F., Zabbotto, A. R., do Nascimento, M. V. L., Jordão, H. W. C., Boas, R. L. V., & Broetto, F. (2020). Seaweed extract to enhance marigold seed germination and seedling establishment. *SN Applied Sciences*, 2(1792), 1-6. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03603-3>
- Vijayakumar, S., Durgadevi, S., Arulmozhi, P., Rajalakshmi, S., Gopalakrishnan, T., & Parameswari, N. (2019). Effect of seaweed liquid fertilizer on yield and quality of *Capsicum annum* L. *Acta Ecologica Sinica*, 39(5), 406-410. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2018.10.001>
- Villa e Vila, V., Piedade, S. M. D. S., Bouix, C. P., Rezende, R., Wenneck, G. S., Terassi, D. D. S., ... & Marques, P. A. A. (2024). Use of a biostimulant based on seaweed extract as a sustainable input to enhance the quality of solanaceous seedlings. *Horticulturae*, 10(6), 1-12. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10060642>
- Wen, W., Franco, J., Chávez, T. V. H., Yan, J., & Taba, S. (2012). Genetic characterization of a core set of a tropical maize race Tuxpeño for further use in maize improvement. *PLoS One*, 7(3), e32626. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032626>