



Seaweed increased growth and yield on maize crop (*Zea mays* L.)
Algas marinas incrementan el crecimiento y rendimiento en el cultivo del maíz


(*Zea mays* L.)

Algas marinhas aumentam o crescimento e a produtividade nas culturas de milho (Zea mays L.)



Elein Terry Alfonso*

*Doctor in Agricultural Sciences, Senior Researcher, National Institute of Agricultural Sciences, Department of Sustainable Agroecosystem Management. San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba,  : terry@inca.edu.cu ;  ID : <https://orcid.org/0000-0002-5996-2226>



Josefa Ruiz Padrón

Master in Biofertilizers and Plant Nutrition, National Institute of Agricultural Sciences specialist, Department of Sustainable Agroecosystem Management. San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba,  : fefita@inca.edu.cu ;  ID : <https://orcid.org/0000-0002-2065-9270>

Yanelis Reyes Guerrero

Doctor in Agricultural Sciences, Researcher Assistant, National Institute of Agricultural Sciences, Department of Plant Physiology and Biochemistry. Mayabeque, Cuba,  : yanelisrg@gmail.com ;  ID : <https://orcid.org/0000-0001-8453-1324>

Hugo Morales Morales

Doctor in Biological Sciences, Full Profesor, Autonomous University of Chihuahua, Faculty of Agricultural and Forstry Sciences, Chihuahua, México,  : hmorales@uach.mx ;  ID : <https://orcid.org/0000-0002-2632-4148>

To reference this article/Para citar este artículo/Para citar este artigo

Terry Alfonso, E., Ruiz Padrón, J., Reyes Guerrero, Y., & Morales Morales, H. (2024). Seaweed increased growth and yield on maize crop (*Zea mays* L.). *Avances*, 26(4), 457-471. <https://avances.pinar.cu/index.php/publicaciones/article/view/850/2153>

Received: February 21, 2024

Accepted: August 27, 2024

ABSTRACT

The commercialization of biostimulants based on seaweed has increased since they began to be used in agriculture; these biostimulants

have proven to be beneficial for the growth and development of plants. The present research was developed with the

objective of evaluating the effect of seaweed (Sargassum) on the growth, development and yield of corn crops. For this purpose, a field experiment was carried out in the period from September to November 2023 in the experimental areas of the National Institute of Agricultural Sciences. Two doses of the bioproduct (5 and 10 mg ha⁻¹) were studied, compared with a control treatment. Foliar sprays were carried out at two times of the crop cycle at 15 and 30 days after germination. Evaluations of growth, development and crop yield were carried out. The results obtained showed a positive effect of the bioproduct and similarly a significant (P<0,05) result for the dose of 5 mg ha⁻¹ with two applications, which was superior to the control treatment in both growth and development in terms of height, number of leaves, stem diameter, as well as yield components such as number of rows and grains per ear and the fresh and dry mass of the ear per plant; Also, agricultural yield is higher, doubling the result of the control treatment. The dose of 10 mg ha⁻¹ increases the yield with respect to the control.

Keywords: Sargasso; bioinput; crop production; agroecology.

RESUMEN

La comercialización de bioestimulantes a bases de algas marinas ha aumentado desde que se comenzaron a utilizar en la agricultura, estos bioestimulantes han demostrado ser beneficiosos para el crecimiento y desarrollo de las plantas. La presente investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar el efecto de algas marinas (Sargassum) en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo del maíz.

Para ello, se llevó a cabo un experimento de campo en el período de septiembre a noviembre de 2023 en las áreas experimentales del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas). Se estudiaron dos dosis del bioproducto (5 y 10 mg ha⁻¹), comparados con un tratamiento control. Las aspersiones foliares se ejecutaron en dos momentos del ciclo del cultivo a los 15 y 30 días después de la germinación. Se realizaron evaluaciones de crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo. Los resultados obtenidos mostraron un efecto positivo del bioproducto y de manera similar un resultado significativo (P<0,05) para la dosis de 5 mg ha⁻¹ con dos aplicaciones, la cual fue superior al tratamiento control tanto en el crecimiento y desarrollo en cuanto a altura, número de hojas, diámetro del tallo, así como en componentes del rendimiento como número de hileras y granos por mazorca y la masa fresca y seca de la mazorca por planta; también, el rendimiento agrícola es superior duplicando el resultado del tratamiento control. La dosis de 10 mg ha⁻¹ incrementa el rendimiento con respecto al control. **Palabras clave:** sargazos; bioinput; producción de cultivos; agroecología.

RESUMO

A comercialização de estimulantes biológicos em bases de algas marinhas aumentou desde que começaram a ser usadas na agricultura, esses estimulantes biológicos se mostraram

benéficos para o crescimento e desenvolvimento de plantas. A presente pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de avaliar o efeito das algas marinhas

(Sargassum) no crecimiento, desenvolvimiento e desempenho do cultivo de milho. Para fazer isso, um experimento de campo foi realizado no período de setembro a novembro de 2023 nas áreas experimentais do Instituto Nacional de Ciências Agrícolas). Duas doses de bioproduto (5 e 10 mg HA-1) foram estudadas, em comparação com um tratamento de controle. As fontes foliares foram realizadas em dois momentos do ciclo da colheita aos 15 e 30 dias após a germinação. As avaliações de crescimento, desenvolvimiento e desempenho das culturas foram realizadas. Os resultados obtidos mostraram um efeito positivo do bioproduto e, da mesma forma, um resultado significativo

($p < 0,05$) para a dose de 5 mg HA-1 com duas aplicações, que foram superiores ao tratamento de controle, tanto no crescimento quanto no desenvolvimiento do desenvolvimiento da altura da altura, número de folhas, diâmetro do caule, bem como em componentes de desempenho como número de linhas e grãos por espiga e massa fresca e seca da espiga por planta; Além disso, o desempenho agrícola depende do resultado do tratamento de controle. A dose de 10 mg H-1 aumenta o desempenho em relação ao controle. **Palavras-chave:** sargazos; bioinsumo; produção agrícola; agroecología.

INTRODUCCIÓN

Una agricultura sostenible con la mínima utilización de productos químicos es una necesidad creciente a nivel mundial, es por ello, que el incremento en el uso de productos biológicos es uno de los retos de la agricultura moderna. Hoy en día, la indiscutible necesidad de proteger el medio ambiente y luchar contra los efectos adversos que ocasiona el cambio climático en la agricultura, ha traído consigo que se retome, con gran aceptación el uso de extractos vegetales y de algas, para aumentar los rendimientos agrícolas y para la prevención y el tratamiento de enfermedades en las plantas. Estos extractos son productos biodegradables y de baja o nula toxicidad

para animales y humanos (García *et al.*, 2023).

Desde los años 50, el uso de algas ha sido sustituido por los extractos hechos de diferentes especies de macroalgas. Actualmente, estos extractos han ganado aceptación como bioestimuladores de las plantas (López *et al.*, 2020). Ellos inducen respuestas fisiológicas tales como la promoción del crecimiento vegetal, el mejoramiento de la floración y del rendimiento, la estimulación de la calidad y del contenido nutricional del producto comestible, así como la prolongación de la vida en anaquel. Además, las aplicaciones de diferentes tipos de extractos han estimulado

la tolerancia de las plantas a un amplio rango de estrés abiótico (De Matos *et al.*, 2020).

Las algas son organismos fotosintetizadores de organización sencilla, que viven en el agua o en ambientes muy húmedos. La aplicación de extractos de algas marinas como biofertilizantes al suelo, follaje de las plantas y semillas, ha mostrado incrementos en rendimiento y calidad de la cosecha de diversos cultivos; además, se utilizan como suplementos nutricionales, bioestimulantes o biofertilizantes en la agricultura (Espinosa *et al.*, 2020).

En Cuba, las macroalgas marinas representan un recurso local económico, disponible y abundante en todo el litoral. Su uso en la industria cubana se ha limitado principalmente a la extracción de ficocoloides, por lo que sus potencialidades como fertilizantes, bioestimulantes, acondicionadores de suelo y en la protección de los cultivos, han sido poco investigadas (Gutiérrez *et al.*, 2024).

En el caso específico del género *Sargassum* spp, su explotación se fundamenta en la utilización de las grandes masas acumuladas anualmente en sectores de playas del país, como resultado del oleaje y las corrientes marinas. Estas afluencias de

biomasa pueden alcanzar varias toneladas de alga fresca, siendo cuantiosas durante el invierno en la costa norte y durante el verano en la costa sur (Moreira *et al.*, 2006 citado en Espinosa *et al.*, 2021).

El cultivo del maíz (*Zea mays* L.) constituye un alimento imprescindible en la alimentación de los humanos por sus aportes calóricos y proteicos, además de que tiene múltiples usos; es utilizado como grano tierno y seco en la alimentación humana y como materia prima para varios productos industriales. En la alimentación animal, se utiliza como forraje, ensilaje y harina de sus granos secos, como parte de los suplementos alimenticios sólidos necesarios (Ayvar *et al.*, 2020). Sin embargo, su presencia en los mercados es aún limitada, lo que sugiere encontrar alternativas sostenibles que sin afectar el medio ambiente, contribuyan a elevar los rendimientos, en busca de una mayor eficiencia de sus sistemas productivos.

De acuerdo con estos antecedentes, la presente investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar el efecto de algas marinas (*Sargassum* spp) en el crecimiento y rendimiento del cultivo del maíz (*Zea mays* L.).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental fue realizado en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), ubicado en Tapaste, San José de las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba, sobre un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado agrogénico

dístrico, según Clasificación de los Suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 2015). El cultivo indicador fue el maíz, cultivar 'Dorado'.

El bioproducto a base de Sargazos se procesó en el laboratorio de Fisiología y

Bioquímica vegetal del INCA, el cual se obtuvo por extracto acuoso; el material algal (mezcla de *Sargassum fluitans* y *Sargassum natans*) fue recolectado en las costas de Guanabo (playa del este de La Habana, Cuba) y se lavó varias veces con agua corriente. Posteriormente, el sargazo lavado se colocó en un recipiente y se cubrió completamente con agua corriente

(proporción 1:6 m:v) y se dejó en reposo por tres meses a temperatura ambiente, con agitación dos veces por semana. Al final del período, el líquido se filtró para eliminar los restos y este fue considerado un extracto al 100 %, en la tabla 1 se muestran las características físico-química del extracto (Gutiérrez *et al.*, 2024).

Tabla 1. Características físico-químicas del extracto a base de *Sargassum* spp.

Características	
Características organolépticas	Líquido transparente, color ámbar
Sólidos solubles totales (mg mL⁻¹)	3,4 ± 0,46
pH	8,45
Salinidad (UPS)	0,9
Compuestos fenólicos (mg g⁻¹ SD)	23,25 ± 0,63 (2,32 %)
Proteínas solubles	22,59 ± 0,37 (2,26 %)
Carbohidratos solubles	7,00 ± 0,56 (0,70 %)
β- caroteno	0,0004 ± 0,0 (4x10 ⁻⁵)
Clorofila a	0,19 ± 0,02 (0,02 %)
Clorofila b	0,47 ± 0,02 (0,05 %)
Fucosantina	0,08 ± 0,006 (0,008 %)

Fuente: Gutiérrez *et al.* (2024).

El experimento en campo se desarrolló bajo un diseño de bloques al azar con cinco tratamientos (Tabla 2) y 4 réplicas, sembrado el cultivo a una distancia de 0,90 x 0,30 m y dos semillas por nido. Se realizó la fertilización con nitrógeno al momento de la

siembra a razón de 50 kg ha⁻¹ y de 100 kg ha⁻¹ de potasio (Blanco & González, 2021), utilizando como portadores urea y cloruro de potasio respectivamente. No se fertilizó con fósforo por su alto contenido en el suelo.

Tabla 2. Tratamientos estudiados.

Tratamientos	
1	5 mg ha ⁻¹ a los 15 DDG
2	10 mg ha ⁻¹ a los 15 DDG
3	5 mg ha ⁻¹ a los 15 y 25 DDG
4	10 mg ha ⁻¹ a los 15 y 25 DDG
5	Control (sin algas marinas)

Leyenda: DDG: Días después de la germinación. **Fuente:** elaboración propia.

Las aplicaciones de este bioproducto se realizaron por aspersión foliar con una mochila de 16 L de capacidad, con boquilla de cono a presión constante, y en las primeras horas de la mañana para aprovechar la apertura de los estomas de las hojas; estas se realizaron en dos fases fenológicas del cultivo, a los 15 (V4) y 25 (V6) días después de la germinación de las semillas (DDG).

Las evaluaciones realizadas a 20 plantas por tratamiento fueron las siguientes:

Respuesta vegetal: se realizaron muestreos destructivos a los 30 y 70 días después de la germinación de las semillas

-Altura de planta (cm): se midió con regla graduada, desde el cuello de la raíz hasta la axila de la hoja más joven.

-Diámetro del tallo (cm): se determinó con un vernier, a partir de dos centímetros por encima del cuello de la raíz.

-Número de hojas: por conteo visual.

Componentes del rendimiento: se realizó a los 90 días después de la germinación de las semillas

-Masa fresca aérea por planta (kg), Masa Fresca de las mazorcas con brácteas (kg), Masa Seca mazorcas con brácteas (kg), Masa Seca mazorcas sin brácteas (kg): Pesaje en balanza analítica con una precisión de ± 0,01 mg y secado en estufa a 70° C hasta masa constante.

-Número de mazorcas por plantas, Número de hileras por mazorcas, Número de granos por mazorca y por hileras: por conteo visual

-Rendimiento agrícola en grano seco (t ha⁻¹)

Para el procesamiento estadístico se comprobó la normalidad de los datos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la homogeneidad de la varianza por la prueba de Levene. Para el análisis de los mismos se utilizó el modelo matemático correspondiente a un diseño de bloques al azar. Se utilizó la Prueba de comparación de Rangos Múltiples de Tukey para P<0,05. Con vista a llevar a cabo este procesamiento y análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico *Statgraphics Plus* versión 5.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La primera evaluación realizada a los 30 días después de la germinación (Tabla 3) se observa que con la aplicación de ambas dosis se estimula la altura de la planta con ambas dosis aplicadas en dos momentos del ciclo del cultivo (14 y 10 % de incremento).

Sin embargo, el número de hojas por plantas, es superior ($P < 0,05$) en el tratamiento donde se utilizó la dosis de 5 mg ha^{-1} (12 %), la otra dosis aplicada manifiesta un resultado similar al tratamiento control.

Tabla 3. Efecto del bioproducto a base de algas marinas en el crecimiento de plantas de maíz (var. Dorado) a los 30 días después de la germinación.

Tratamientos	Altura (cm)	Numero hojas/planta
5 mg ha⁻¹ a los 15 DDG	24,60 b	7,13 b
10 mg ha⁻¹ a los 15 DDG	24,32 b	7,21 b
5 mg ha⁻¹ a los 15 y 25 DDG	28,13 a	8,06 a
10 mg ha⁻¹ a los 15 y 25 DDG	27,06 a	7,46 ab
Control (sin algas marinas)	20,18 c	7,15 b
ESx	0,50*	0,21*

Leyenda: Medias con letras iguales no difieren significativamente según prueba Tukey $P < 0,05$; ESx: error estándar de la media. **Fuente:** Elaboración propia

La altura de las plantas es una de las variables más usadas para caracterizar el desarrollo de los cultivos y es un buen indicador de los rendimientos agrícolas y, existe básicamente una relación muy estrecha entre la altura de la planta y la biomasa (Blanco & González, 2021) lo cual es de gran importancia no solo para estimar la producción sino también para ajustar el manejo de los cultivos; por otra parte, en este cultivo todas las hojas de las plantas se forman durante los primeros 30 a 37 días de edad y estas son el principal órgano para la realización de la fotosíntesis en la planta por lo tanto, se denota el efecto positivo que

ejerce el bioproducto a base de algas marinas como bioestimulante de estas variables del crecimiento de las plantas.

Los extractos de algas marinas poseen sustancias bioestimulantes como polisacáridos, fitohormonas y micronutrientes capaces de estimular el crecimiento vegetal y ofrecer una mayor protección frente a diferentes tipos de estrés abiótico y biótico. Sunarpi *et al.* (2019) al evaluar fertilizantes sólidos de *Sargassum crassifolium* en arroz, observaron un aumento en la altura, el número de vástagos y el número de hojas de las plantas que recibieron la aplicación del

producto con respecto a las plantas controles.

El Boukhari *et al.* (2020) plantean que después de los carbohidratos y minerales, las proteínas son el componente molecular más abundante en las macroalgas, las cuales poseen en su estructura los nueve aminoácidos esenciales y que otros constituyentes relevantes son las vitaminas (B, C, E y K), reguladores del crecimiento vegetal y pigmentos fotosintéticos, todo lo cual incide favorablemente en el estímulo del crecimiento y desarrollo de las plantas.

La segunda evaluación realizada a los 70 días después de la siembra (Tabla 4) se observa que con dos aplicaciones de ambas dosis se estimula la altura, el número de hojas y el diámetro del tallo de las plantas, las cuales son superiores en un 18 y 17 % (altura), 51 y 52 % (número de hojas) y para el diámetro del tallo se duplica el resultado con respecto al tratamiento control, obteniéndose diferencias altamente significativas ($P < 0,05$).

Tabla 4. Efecto del bioproducto a base de algas marinas en el crecimiento de plantas de maíz a los 70 días después de la germinación.

Tratamientos	Altura (cm)	Numero hojas/planta	Diámetro tallo/planta (cm)
5 mg ha ⁻¹ a los 15 DDG	95,66 b	10,26 b	2,86 b
10 mg ha ⁻¹ a los 15 DDG	95,86 b	12,31 b	2,90 b
5 mg ha ⁻¹ a los 15 y 25 DDG	107,26 a	12,33 a	3,34 a
10 mg ha ⁻¹ a los 15 y 25 DDG	106,40 a	12,45 a	3,37 a
Control (sin algas marinas)	90,33 c	8,14 c	1,27 c
ESx	1,92*	0,26*	0,10*

Leyenda: Medias con letras iguales no difieren significativamente según prueba Tukey $P < 0,05$. ESx: error estándar de la media; DDG: días después de la germinación. **Fuente:** Elaboración propia.

La aplicación temprana de bioestimulantes tiene un efecto directo sobre el crecimiento de las plantas, lo cual les permite una mejor absorción y transporte de agua y nutrientes, mejorar el soporte de la planta, optimizar la síntesis de hormonas que regulan la división y diferenciación celular con mecanismos diferentes a los utilizados por los fertilizantes minerales u otros productos nutricionales (Morales, 2017).

Según Barreto y Pinos (2023) en un estudio experimental realizado sobre el uso de bioestimulantes, le fue posible obtener un mayor crecimiento y desarrollo vegetativo de la planta de maíz, al evaluar híbridos bajo condiciones de fertilización foliar con bioestimulantes a base de aminoácidos, sustancias precursoras de crecimiento microbiano y extractos de algas, encontrando diferencias significativas donde los bioestimulantes aumentaron el rendimiento

de grano de 7,9 a 11,4 %, respecto al testigo así como altura, diámetro de tallo y área foliar. Es preciso mencionar que, en este estudio, los mejores resultados se obtuvieron a partir del uso de Evergren que es un bioestimulante a base de algas marinas.

En la etapa de cosecha del cultivo (Tabla 5 a y b) se aprecia que, en cuanto a la

masa fresca de plantas y mazorcas, con la menor dosis de 5 mg ha⁻¹ se estimulan estas variables evaluadas las cuales duplican el resultado del tratamiento control. Solo para el número de mazorcas por planta no existe diferencias estadísticas (P<0,05) entre los tratamientos.

Tabla 5a. Efecto del bioproducto a base de algas marinas en componentes del rendimiento de plantas de maíz (var. Dorado).

Tratamientos	Masa Fresca/planta (kg)	Número mazorcas /planta	Masa Fresca/mazorca con brácteas (kg)
5 mg ha ⁻¹ a los 15 DDG	0,86 b	1,00	0,35 b
10 mg ha ⁻¹ a los 15 DDG	0,88 b	1,02	0,30 b
5 mg ha ⁻¹ a los 15 y 25 DDG	1,15 a	1,50	0,52 a
10 mg ha ⁻¹ a los 15 y 25 DDG	1,04 a	1,16	0,46 ab
Control (sin algas marinas)	0,23 c	1,00	0,23 c
ESx	0,06*	0,16 NS	0,07*

Leyenda: Medias con letras iguales no difieren significativamente según prueba Tukey P<0,05; NS: no significativo; ESx: error estándar de la media. **Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 5b. Efecto del bioproducto a base de algas marinas en componentes del rendimiento de plantas de maíz (var. Dorado).

Tratamientos	Masa Seca/mazorca con brácteas (kg)	Masa Seca/mazorca sin brácteas (kg)
5 mg ha ⁻¹ a los 15 DDG	0,11 b	0,08 b
10 mg ha ⁻¹ a los 15 DDG	0,13 b	0,07 b
5 mg ha ⁻¹ a los 15 y 25 DDG	0,20 a	0,18 a
10 mg ha ⁻¹ a los 15 y 25 DDG	0,16 ab	0,14 ab
Control (sin algas marinas)	0,06 c	0,02 c
ESx	0,02*	0,01*

Leyenda: Medias con letras iguales no difieren significativamente según prueba Tukey P<0,05; ESx: error estándar de la media. **Fuente:** Elaboración propia.

Los análisis de la composición mineral evidencian la riqueza en macro (K, N, Mg,

Ca, Na) y/o micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Co, Ni) de las macroalgas cubanas y en

específico del extracto utilizado en este trabajo (Tabla 1), elementos que son requeridos por las plantas para su óptimo crecimiento y desarrollo, por lo que, la posibilidad del uso de productos basados en estos recursos naturales como fertilizantes orgánicos, puede considerarse una oportunidad para potenciar la actividad

agrícola y la producción de alimentos con calidad nutricional (Espinosa *et al.*, 2021).

En cuanto a la evaluación de los componentes de las mazorcas (Tabla 6), no existen diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las dos dosis estudiadas aplicadas en dos momentos; no obstante, también una sola aplicación del bioproducto supera al

Tabla 6. Efecto del bioproducto a base de algas marinas en componentes de la mazorca de maíz (var. Dorado).

Tratamientos	Número hileras/mazorca	Número de granos /hilera	Número de granos/mazorca
5 mg ha ⁻¹ a los 15 DDG	12,33 b	29,66 b	461,50 b
10 mg ha ⁻¹ a los 15 DDG	12,41 b	30,25 b	473,20 b
5 mg ha ⁻¹ a los 15 y 25 DDG	15,33 a	33,33 a	529,66 a
10 mg ha ⁻¹ a los 15 y 25 DDG	15,00 a	35,50 a	528,33 a
Control (sin algas marinas)	10,15 c	23,41 c	245,40 c
ESx	0,73*	1,09*	15,8*

Leyenda: Medias con letras iguales no difieren significativamente según prueba Tukey $P < 0,05$; ESx: error estándar de la media. **Fuente:** Elaboración propia.

Caracteres como el diámetro de la mazorca y el número de hileras o la longitud de la mazorca y el número de granos por hileras están altamente correlacionados por estar midiendo el mismo carácter. Trabajos similares a este estudio evidenciaron que un aumento en la longitud de la mazorca implica un incremento en el número de granos de la mazorca, en el número de hileras y en la masa de los granos, trayendo consigo un aumento en el rendimiento del maíz (Blanco *et al.*, 2022).

Los efectos beneficiosos en las plantas de los productos algales, se atribuyen a su

composición química diversa que incluye macro y micronutrientes, reguladores del crecimiento vegetal (auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico) y otros componentes de bajo peso molecular como betaínas, brasinoesteroides y poliaminas (Hernández *et al.*, 2018 citado por Espinosa *et al.*, 2021).

Estudios realizados con el empleo de *Chaetoceros gracilis* como biofertilizante a una dosis de 20 mg planta⁻¹ (García *et al.*, 2023), permitió mejorar las variables agronómicas y productivas del cultivo del maíz, incrementándose la altura de planta

(220,1 cm), longitud de mazorca (18,17 ± 2.02 cm), número de hileras por mazorca (17,88 ± 1.36), número de granos por mazorca (652,16 ± 58.23), peso de la mazorca con tusa (295,03 ± 8.91 g) y el mayor rendimiento (9,144.33 kg ha⁻¹).

El análisis del rendimiento agrícola (Figura 1) arrojó que el mismo se incrementa con la aplicación de algas marinas a la dosis

de 5 mg ha⁻¹ aplicada en dos momentos del crecimiento del cultivo duplicando el resultado del tratamiento control. Esta misma dosis con una sola aplicación no difiere estadísticamente (P<0,05) del tratamiento con la dosis de 10 mg ha⁻¹ aplicada en dos momentos. No obstante, con las dos dosis se supera al tratamiento control.

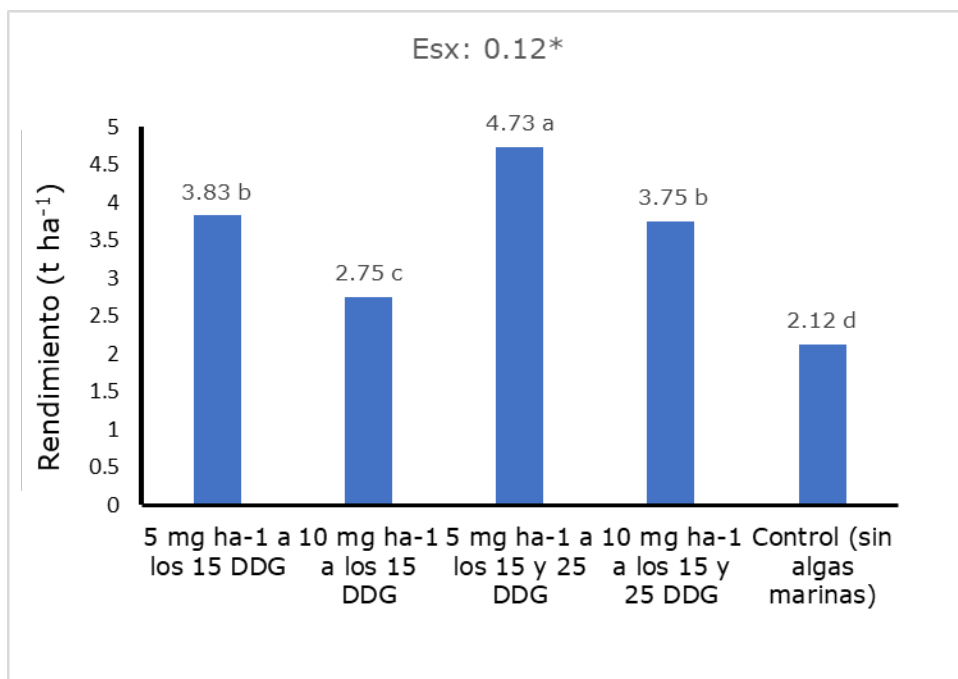


Figura 1. Efecto del bioproducto a base de algas marinas en el rendimiento del cultivo del maíz (var. Dorado). **Legenda:** Medias con letras iguales no difieren significativamente según prueba Tukey P<0,05; ESx: error estándar de la media.

El incremento en los rendimientos y la buena calidad de los frutos como efecto del uso de las algas marinas y sus derivados en la agricultura, se debe a que estas contienen: todos los elementos mayores, todos los elementos menores y todos los elementos traza presentes en las plantas; además, contienen 27 sustancias naturales reportadas hasta ahora cuyos efectos son similares a los

de los reguladores de crecimiento de las plantas; vitaminas, carbohidratos, proteínas, sustancias biocidas que actúan contra algunas plagas y agentes quelatantes como ácidos orgánicos y manitol (Martínez *et al.*, 2022).

Resultados similares en el cultivo del maíz plantean que los bioestimulantes foliares resultan una alternativa en la

fertilización complementaria para el incremento de la producción en este cultivo (Narváez, 2022).

De esta manera, también constituyen una opción económica para potenciar el rendimiento y la calidad nutricional de diferentes cultivos debido a su capacidad de estimular una amplia gama de respuestas beneficiosas en el sistema planta-suelo (Pérez *et al.*, 2020). Por tanto, los bioestimulantes a base de extractos de algas tienen la capacidad de hacer que las plantas estimulen su crecimiento, la resistencia al estrés y aumentar el rendimiento; por otra parte, las sustancias derivadas de estas, favorecen los procesos fisiológicos de crecimiento de las plantas (González, 2022).

Espinosa *et al.* (2021) concluyen en su artículo que en países que prestan grandes extensiones de litoral, las macroalgas

constituyen un recurso local económico, abundante y poco aprovechado como fuente de nuevos bioproductos para uso agrícola, destinados a incrementar el rendimiento, la calidad nutricional y la protección de diferentes cultivos. Las macroalgas marinas presentes en el litoral de Cuba tienen grandes perspectivas para el desarrollo de la agricultura, por lo que deben impulsarse estudios científicos que evalúen sus bondades como bioinsumos alternativos para la biotecnología vegetal y la producción de plantas cultivadas, específicamente se recomienda la explotación de los géneros *Sargassum* y *Ulva* para la elaboración de extractos bioestimulantes del crecimiento vegetal. Los estudios de este trabajo corroboran este planteamiento demostrando la efectividad de esta alga como bioestimulante para el cultivo del maíz.

CONCLUSIONES

Con la aplicación de algas marinas (mezcla de *Sargassum fluitans* y *Sargassum natans*) a la dosis mínima de 5 mg ha⁻¹ con dos aplicaciones en el ciclo biológico del cultivo del maíz, se potencia el crecimiento

vegetativo de las plantas y se duplica el resultado del rendimiento agrícola con respecto al tratamiento control. Por tanto, se demuestra la efectividad del bioproducto como bioestimulante para el cultivo del maíz.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al proyecto PS131LH004-00X13 "Bioestimulantes a base de extractos de algas para el aumento de los rendimientos y la calidad de cultivos de importancia económica", financiado por el

Programa Sectorial de "Desarrollo y uso sostenible de bioinsumos agrícolas y veterinarios" del Ministerio de Agricultura de Cuba, por los recursos financieros para la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J., Vargas-Hernández, M., Mena-Bahena, A., Tejeda-Reyes, M., & Cuevas-Apresa, Z. (2020). Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 9-16. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.507>
- Barreto, W.Z.W y Pinos, D.O.R. (2023). Evaluación del rendimiento en la producción de maíz mediante la aplicación de tres bioestimulantes en el cantón joya de los sachas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.6005
- De Matos Nascimento, A., Maciel, A., Gonçalves, J., Vieira, H., Romário de Paula, V., & Otenio, M. (2020). Biofertilizer application on corn (*Zea mays*) increases the productivity and quality of the crop without causing environmental damage. *Water, Air & Soil Pollution*, 231(8), 414. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04778-6>
- Blanco-Valdés, Yaisys, & González-Viera, Deborah. (2021). Influencia de la densidad de población en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Cultivos Tropicales*, 42(3), Epub 30 de septiembre de 2021. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362021000300008&lng=es&tlng=es
- Blanco-Valdés, Y., Cartaya-Rubio, OE., Espina-Nápoles, M. (2022). Efecto de diferentes formas de aplicación del Quitomax® en el crecimiento del maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 33(3):47246. <https://doi.org/10.15517/am.v33i3.47246>; <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/index>
- El Boukhari, M.E.M., Barakate, M., Bouhia, Y., et al. (2020). Trends in Seaweed Extract Based Biostimulants: Manufacturing Process and Beneficial Effect on Soil-Plant Systems. *Plants*, 9(359), 1-23. <https://doi.org/10.3390/plants9030359>
- Espinosa-Antón, A.A., Hernández-Herrera, R.M., & González, M. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas. *Bioteología Vegetal*, 20(4), 257-282. <https://revista.ibp.co.cu>
- Espinosa-Antón, A.A, Hernández-Herrera, R.M, & González González, M. (2021). Potencial de las macroalgas marinas como bioestimulantes en la producción agrícola de Cuba. *Centro Agrícola*, 48(3), 81-92. Epub 01 de julio de 2021. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852021000300081&lng=es&tlng=pt

- García Vásquez, G. E., Álvarez Sánchez, A. R., & Yáñez Cajo, D. J. (2023). Efecto agronómico y productivo de la biofertilización a base de microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Pueblo Viejo, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 16(1), 43–51.
<https://doi.org/10.18779/cyt.v16i1.699>
- González, J.J. (2022). El uso de algas marinas como bioestimulantes (en línea). Trabajo de grado de Biología. Universidad de la Laguna, España. Consultado: 12 ene 2023. Recuperado de <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/29095>
- Gutiérrez Almeida, A., Núñez Vázquez, M. de la C., Reyes Guerrero, Y., Acosta Suárez, Y., & Hernández Rivera, Y. (2024). Caracterización química y evaluación de la actividad biológica de diferentes extractos de *Sargassum* spp. *Avances*, 26(3), 399-417. <https://avances.pinar.cu/index.php/publicaciones/article/view/842/2149>
- Hernández, J. A., Pérez, J.J. y Bosch, I.D. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba. [en línea], Edit. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque. [Consultado: 23 de abril de 2023]. Recuperado de <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=5349549>
- López I., Martínez L., Pérez G., Reyes Y., Núñez M., Cabrera JA. (2020). Las algas y sus usos en la agricultura. Una visión actualizada. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). *Cultivos Tropicales*, 41(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362020000200010&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Martínez A., Zamudio B., Tadeo M., Espinoza A., Cardoso J y Vázquez A. (2022). Rendimiento de híbridos de maíz en respuesta a la fertilización foliar con bioestimulantes. [Internet]. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, XIII(2), 289-301. [cited 2024 Mar 13]. Available from: <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i2.2782>
- Morales CG. (2017). Uso de bioestimulantes: Manual de manejo agronómico del arándano. [Internet]. *Boletín INIA-Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, 43–47. [cited 2024 Mar 13]. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6679>
- Narvárez A. Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays*) a la aplicación de bioestimulantes a base de fitohormonas y prebióticos. (2022). [Internet]. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. [cited 2023 Mar 23]. Recuperado de

<https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/6676/1/T-UTEQ-341.pdf>

Pérez-Madruga, Y., López-Padrón, I. y Reyes-Guerrero, Y. (2020). Las Algas como alternativa natural para la producción de diferentes cultivos. *Cultivos Tropicales*, 41(2).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362020000200009&lng=es&tlng=es

Sunarpi, H., Ansyarif, F., Putri, F., Azmiati, S., Nufus, N., Widyastuti, S., & Prasedya, E. (2019). Effect of Indonesian Macroalgae based solid and liquid fertilizers on the growth and yield of rice (*Oryza sativa*). *Asian Journal of Plant Sciences*, 18, 15–20.
<https://doi.org/10.3923/ajps.2019.15.20>

AUTHORS CONTRIBUTION

Terry Alfonso, E.: conceptualization, bibliographic review, methodology, statistical analysis, manuscript writing, adjustments.

Ruiz Padrón, J.: bibliographic review, execution of methodology, statistical analysis.

Reyes Guerrero, Y.: project conceptualization, general advice.

Morales Morales, H.: manuscript review, tables y figures, adjustments, translate.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interest regarding the publication of this article.

Avances journal assumes the Creative Commons 4.0 international license