

# Aplicación foliar de *Ascophyllum nodosum* y tierra de diatomeas en la producción de frijol chino y maíz

Foliar application of *Ascophyllum nodosum* and diatomaceous earth in the production of cowpea and corn

Recepción del artículo: 27/02/2023 • Aceptación para publicación: 17/04/2023 • Publicación: 30/06/2023

● <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi20.302>

**Patricio Apáez-Barrios\***

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ciencias Agropecuarias.  
Apatzingán, Michoacán. México.

**Ma. Blanca Nieves Lara-Chávez**

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez".  
Uruapan, Michoacán. México

**Maricela Apáez-Barrios**

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ciencias Agropecuarias.  
Apatzingán, Michoacán. México.

**Yurixhi Atenea Raya-Montaño**

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez".  
Uruapan, Michoacán. México

\*Autor para correspondencia: patricio.apaez@umich.mx

## Resumen

El frijol chino y el maíz son importantes como alimentos humanos, al ser el frijol chino de guía, el maíz actúa como espaldera. En estos cultivos es importante buscar alternativas amigables con el ambiente, enfocadas en incrementar el rendimiento agrícola. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la aplicación de dos bioestimulantes, uno de *Ascophyllum nodosum* y otro de tierra de diatomeas, sobre la producción de vainas y grano en frijol chino y maíz. Se sembró frijol chino y maíz en asociación en Apatzingán, Michoacán., México. Los tratamientos consistieron en la aplicación individual de *A. nodosum* (AN) y tierra de diatomeas (TD) a 0.5, 1.0 y 1.5 g L<sup>-1</sup> y AN+TD ambas a la dosis de 1 g L<sup>-1</sup>. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se encontró que el suministro foliar individual y en combinación de los bioestimulantes, incrementaron el rendimiento de vaina verde hasta en 57 % y de grano de 32.5 a 42.5 % y, también aumentaron variables morfológicas y componentes del rendimiento. La aplicación de AN, TD y AN+TD en dosis de 1 g L<sup>-1</sup>, provocaron la más alta producción de vaina en frijol chino y grano en maíz.

**Palabras clave:** Alga marina, bioestimulante, dosis de aplicación.

## Abstract

Cowpea and corn are important as human food, being the guide cowpea, corn acts as a trellis. In these crops it is important to look for environmentally friendly alternatives, focused on increasing agricultural yield. The objective of the study was to determine the effect of the application of two biostimulants, one of *Ascophyllum nodosum* and the other based on diatomaceous earth on the production of pods and grain in cowpea and corn. Cowpea and corn were planted in association in Apatzingán, Michoacán, México. The treatments consisted of the individual application of *A. nodosum* (AN) and diatomaceous earth (TD) at 0.5, 1.0 and 1.5 g L<sup>-1</sup> and AN+TD both at doses of 1 g L<sup>-1</sup>. A randomized complete block design with four replicates was used. It was found that the individual foliar supply and in combination of the biostimulants, increased green pod yield up to 57 % and grain yield from 32.5 to 42.5 %, and also increased morphological variables and yield components. The application of AN, TD and AN+TD in doses of 1 g L<sup>-1</sup>, caused the highest pod production in cowpea and grain in corn.

**Keywords:** Seaweed, biostimulant, application dose.

## Introducción

El frijol chino (*Vigna unguiculata subsp sesquipedalis*), es una de las leguminosas más importantes, que se cultiva principalmente para la producción de vainas tiernas, las cuales se caracterizan por presentar longitudes de 30 a 90 cm, usadas para el consumo humano. Son fuente importante de proteínas, vitaminas y minerales (Kongjaimun *et al.*, 2012). Al presentar crecimiento indeterminado necesita de espalderas o tutor para mantener a la planta erguida; función que puede cumplir el cultivo de maíz, con el cual se evita la adquisición de postes de concreto o madera y al tratarse de una asociación de cultivos se aumenta el uso equivalente de la tierra, la diversidad de productos agrícolas cosechados y la ganancia económica, por la complementación que hay entre las especies componentes del sistema (Apáez-Barrios *et al.*, 2013). El maíz es el cultivo más representativo de México, ya que es la base de la alimentación de los mexicanos, consumido en distintas formas, tanto en grano como en verdura y en diversas preparaciones. Es la principal fuente de carbohidratos para los mexicanos, con un consumo per cápita de 332 kg de grano. Pero anualmente se importan alrededor de 16 millones de t de grano (SIAP, 2021). Por lo que es necesario incrementar la producción de maíz para reducir las importaciones y contribuir con la soberanía alimentaria. Así mismo, es necesario mejorar la producción de frijol chino para fomentar su cultivo. Actualmente se buscan alternativas de cultivo que sean amigables con el ambiente (Raya-Montaña *et al.*, 2022).

El enfoque de sostenibilidad agrícola busca métodos novedosos y avances tecnológicos que puedan afectar positivamente la calidad y el rendimiento de los cultivos agrícolas, mediante la reducción de estrés biótico y abiótico; así como la mejora en la nutrición de las plantas (Alam *et al.*, 2013; Liang *et al.*, 2015). Recientemente en la agricultura se están empleando bioestimulantes como métodos innovadores durante el manejo de los cultivos y representan alternativas ecológicas a los productos químicos sintéticos (Espinosa-Antón *et al.*, 2020), debido a que no contaminan. Al ser suministrados mejoran el sistema de cultivo, ya que aumenta la absorción de nutrimentos, el crecimiento de las

raíces, el crecimiento vegetal y el rendimiento por unidad de superficie (Alam *et al.*, 2013). Se entiende como bioestimulante a cualquier producto a base de sustancias naturales o microorganismos que estimulan el crecimiento de las plantas, presenten o no algún contenido nutrimental, los cuales pueden ser suministrados a la semilla, la planta o a la rizosfera y que presentan una o varias de las siguientes características: incremento en la eficiencias del uso de nutrientes, ya sea por ser fuente de nutrientes o por favorecer la disponibilidad en el suelo o la rizosfera, confieren resistencia o tolerancia al estrés provocado por biótico y abiótico y mejoran la calidad de la producción (Espinosa-Antón *et al.*, 2020; Roupheal y Colla, 2020; Andreotti *et al.*, 2022).

Como bioestimulantes destacan las macroalgas o algas marinas, que son organismo multicelulares marinos o de agua dulce, clasificados en tres grupos: algas marrones, verdes y rojas, son recursos disponibles a bajo costo y ricos en diversos compuestos bioactivos como lípidos, proteínas, carbohidratos, aminoácidos, fitohormonas, osmoprotectores, compuestos antimicrobianos (Alam *et al.*, 2014; Shahbazi *et al.*, 2015; Mirparsa *et al.*, 2016; Raghunanda *et al.*, 2019), nutrientes minerales como N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, Cd (Tuhy *et al.* 2015). Además, se conoce que las algas marinas funcionan como acondicionadores del suelo, aumentan la resistencia de las plantas contra plagas y enfermedades y protegen a las plantas bajo estrés biótico y abiótico. Las respuestas positivas de las plantas con aplicación de algas marinas incluyen mejoras en la germinación, desarrollo radicular, calidad foliar, vigor general de la planta, resistencia a patógenos, así como incrementos en el rendimiento de los cultivos (Khan *et al.*, 2009; Espinosa-Antón *et al.*, 2020).

Las algas marinas pueden ser aplicadas como extractos suministrados de manera foliar. Dentro de las algas marinas más utilizadas están: *Ascophyllum nodosum*, *Laminaria digitata.*, *Ecklonia máxima*, *Sargassum* spp., *Durvillaea* spp. *Macrocystis pyrifera*, *Porphyra perforate*, *Kappaphycus Alvarezii*, *Enteromorpha intestinalis*, *Ulva lactuca*, entre otras (Ali *et al.*, 2021). Dentro de estas algas, *A. nodosum* es de las más ampliamente utilizadas como alimento y aplicaciones industriales (Ertani *et al.*, 2018).

Así mismo, las algas diatomeas son un grupo de algas, la mayoría son unicelulares constituyentes de un tipo común de fitoplancton, que por fosilización y deposición forman rocas sedimentarias conocidas como tierras diatomeas (Prakash *et al.*, 2019; Nascimento *et al.*, 2021). Algunas diatomeas de importancia son: *Navicula perminuta*, *Coscinodiscus wailesii*, *Coscinodiscus cf. radiatus*, *Biddulphia reticulata*, *Eupodiscus radiatus*, *Melosira varians* entre otras (Aguirre *et al.*, 2018), las cuales se caracterizan por que sus paredes están compuestas de silicio amorfo, el cual se solubiliza más fácilmente que el silicio cristalino, presentan alta permeabilidad y porosidad (Nascimento *et al.*, 2021; Raya-Montaña *et al.*, 2022).

El silicio, es un elemento no esencial en la nutrición de las plantas y solo funcional en algunos cultivos (Coskun *et al.*, 2019), documentado que es efectivo en el incremento del crecimiento, producción de biomasa, rendimiento agrícola y calidad de varios cultivos que incluyen monocotiledóneas. El efecto benéfico del Si se atribuye a que además de actuar como promotor del crecimiento, también, conferir resistencia a factores bióticos y abióticos (Liang *et al.*, 2015; Raya-Montaña *et al.*, 2022). En este sentido, las tierras de diatomeas se presentan como una fuente de silicio con contenidos superiores al 85% de SiO<sub>2</sub>, forma que es apropiada para las plantas y que por su alta solubilidad pueden ser aplicadas de manera foliar e incrementar la eficiencia de absorción del silicio. Adicionalmente las tierras de diatomeas aportan elementos esenciales y benéficos como Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, TiO, CaO, MgO y P<sub>2</sub>O (Reka *et al.*, 2021; Raya-Montaña *et al.*, 2022). A las tierras de diatomeas se les consideran como fortificantes, término utilizado como equivalente de bioestimulante (Constantinescu-Aruxandei *et al.*, 2020). Actualmente se ha encontrado beneficios en la agricultura con la aplicación foliar de tierras de diatomeas, principalmente en el incremento del rendimiento agrícola (Constantinescu-Aruxandei *et al.*, 2020; Ertani *et al.*, 2018; Raya-Montaña *et al.*, 2022). Sin embargo, la aplicación combinada de tierra de diatomeas y *A. nodosum* podría presentar un efecto sinérgico en la respuesta en la mejora del rendimiento. En

la asociación frijol chino y maíz son escasos los estudios. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la aplicación foliar de dos bioestimulantes uno del alga marina *Ascophyllum nodosum* y otro de tierra de diatomeas suministrados de manera individual en distintas dosis y combinados sobre la producción de vaina y grano de maíz en la asociación frijol chino maíz.

## Materiales y métodos

### Ubicación del experimento

El presente estudio se desarrolló bajo condiciones de campo en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en Apatzingán, Michoacán, México; que se localiza a 19° 04' 56" LN y -102° 22' 15" de LO a 325 m de altitud. El clima del sitio es BSh'g, que es seco estepario muy cálido (García, 2004).

### Establecimiento del experimento

Se realizó la preparación del terreno, el cual consistió en un barbecho, dos pasos de rastra y el surcado a 80 cm de distancia entre surcos. Posteriormente se instaló el sistema de riego por goteo con cintilla de 5/8", 1.01 LPH/ gotero, con goteros cada 10 cm. De 0 a 30 cm de profundidad el suelo experimental presentó pH de alcalino (7.7), densidad aparente (1.12 g cm<sup>-3</sup>), materia orgánica de 3.2 %, alta capacidad de intercambio catiónico (44 Cmol kg<sup>-1</sup>), contenido (mg kg<sup>-1</sup>) de 21 (N-NO<sub>3</sub>), 19 (P-Olsen), 976 (K), 5454 (Ca), 1,854 (Mg), 4.2 Fe, 1.83 Cu, 0.67 (Zn), 9.01 Mn y 0.73 (B).

Se utilizó frijol chino (*Vigna unguiculata* subsp *sesquipedalis*) semilla no certificada (genotipo regional del estado de Guerrero, México), de crecimiento indeterminado o guía, que produce vainas que alcanzan hasta 70 cm de longitud, y el maíz híbrido GV-321 (Golden Vegetable Seeds, Guadalajara, Jalisco, México), semilla certificada de ciclo intermedio, de grano blanco cristalino, tolerante a la roya, a la pudrición del tallo y al carbón de la espiga, adaptado a altitudes de 0 a 2100 m. Se realizó la siembra manual de frijol chino y maíz de manera simultánea el 10 de

diciembre de 2021 a distancias entre plantas (sitio) de 80 cm y distancias entre surcos de 80 cm. Se dejó una planta de maíz por planta de frijol chino por sitio. El maíz cumplió la función de espaldera viva.

### Fertilización y riegos

La fertilización fue con 80-80-00 de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K, como urea (46 N) y fosfato diamónico (18 N-46 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). La mitad del N y todo el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se suministraron al momento de la siembra y el resto de N se aplicó a los 40 días después de la siembra. La totalidad del requerimiento hídrico del cultivo se suministró a través del sistema de riego por goteo. Los riegos se suministraron dos veces por semana durante todo el ciclo del cultivo. Cada riego tuvo una duración de dos horas. Se procuró tener al cultivo siempre a capacidad de campo. El agua utilizada para los riegos presenta el siguiente contenido de macronutrientes (meq L<sup>-1</sup>) 0.21 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), 0.01 (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>), 0.03 (K<sup>+</sup>), 0.72 (Ca<sup>2+</sup>), 2.43 (Mg<sup>2+</sup>) Y 0.24 (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>).

### Tratamientos y diseño experimental

Se evaluó la aplicación foliar del alga marina *Ascophyllum nodosum* (AN) en polvo 100 % puro, producto comercial proveniente de Teruel, Aragón, España y tierra de diatomeas (TD), producto comercial proveniente de Zapopan, Jalisco, México que es un polvo fino blanco mezcla de algas unicelulares fosilizadas compuesta (%) por 90.8 (SiO<sub>2</sub>), 0.27 (TiO), 5.2 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 0.02 (MnO), 0.52 (MgO), 0.42 (CaO), 0.36 (Na<sub>2</sub>O), 0.26 (K<sub>2</sub>O) y 0.04 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); suministradas de manera individual a tres dosis: baja (0.5 g L<sup>-1</sup>), media (1.0 g L<sup>-1</sup>) y alta (1.5 g L<sup>-1</sup>) y en combinación (AM+TD) a la dosis de 1.0 g L<sup>-1</sup>. Lo que generó siete tratamientos: AN0.5, AN1.0, AN1.5, TD0.5, TD1.0, TD1.5, AM1.0+AT1.0, y el tratamiento control (testigo) solo con agua destilada. Se consideró como la dosis media de aplicación (1.0 g L<sup>-1</sup>) a la recomendada por el fabricante. Los productos fueron pesados de acuerdo con la dosis de cada tratamiento en una balanza de precisión digital Scout 700 g/0.1g Ohaus®, se disolvieron en agua destilada y se mezclaron con el adherente Inex-A® a la dosis de 1 mL L<sup>-1</sup>. En total se realizaron tres aplicaciones

olieres a intervalos de 10 días, se inició a los 10 días después de la emergencia.

La cantidad de solución suministrada de manera foliar varió en función del desarrollo de las plantas, en la primera aplicación la cantidad de solución suministrada por sitio (una planta de frijol chino y una planta de maíz) fue de 18 mL, en la segunda aplicación fue de 25 mL y la tercera aplicación fue de 32 mL. El criterio que se tomó para determinar la cantidad de solución por sitio fue aquella que permitiera dejar a las plantas completamente mojada. Se utilizó una bomba manual con 15 L de capacidad (SWISSMEX®) con una boquilla de cono hueco, la cual fue previamente calibrada en cada aplicación para suministrar una cantidad uniforme de solución en todas las plantas. La bomba fue lavada entre aplicaciones de tratamientos para eliminar residuos del tratamiento previo. Las plantas del testigo se asperjaron sólo con agua y adherente. Las aplicaciones se realizaron por las mañanas a las 8 am. Para evitar o reducir el efecto de deriva y asegurar la aplicación de los tratamientos a las unidades experimentales específicas, se utilizaron solo en las aplicaciones plásticos de 1 m de altura como barreas físicas entre unidades experimentales.

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Lo que generó 32 unidades experimentales, cada unidad experimental estuvo formada por tres surcos de 4 m de longitud.

### Variables de respuesta

En la etapa productiva, a los 50 días después de la siembra, en tres plantas de frijol chino y tres plantas de maíz por surco, es decir, la parcela útil estuvo conformada por nueve plantas de cada especie por unidad experimental, se registró la altura de la planta con una cinta métrica desde la base del tallo hasta la punta del ápice, el diámetro del tallo se registró con un vernier en la base del tallo y se contabilizó el número de hojas por planta. A la madurez de cosecha (55 días después de la siembra) en las plantas de la parcela útil de cada unidad experimental se realizaron los cortes de vaina del frijol chino (ocho cortes en total en un periodo de 30 días) y se determinó el número de vainas por planta y el rendimiento de vainas en t ha<sup>-1</sup>. En las plantas de maíz a madurez de cosecha

(90 días después de la siembra) se registró el peso promedio de mazorcas y el rendimiento de grano en t ha<sup>-1</sup>.

### Registro de elementos del clima

Para conocer las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrolló el estudio, durante el desarrollo del cultivo se registraron las temperaturas máximas y mínimas; así como la precipitación pluvial en la estación agrometeorológica instalada en la Facultad de Ciencias Agropecuarias. La temperatura máxima fluctuó entre 34.5 y 40.9 °C, mientras que la mínima entre 13.5 y 18.8 °C, de manera general, las temperaturas tendieron a incrementarse conforme los cultivos avanzaron en el ciclo de crecimiento. No se presentó precipitación pluvial durante el ciclo de los cultivos, por lo que la totalidad de agua se proporcionó a través del sistema de riego.

### Análisis estadístico

Los datos se sometieron a un análisis de varianza de una sola vía con el paquete estadístico SAS versión 9.4 (SAS 2017), y se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de probabilidad del error.

### Resultados

#### Longitud de la planta, diámetro del tallo y número de hojas del frijol chino

De acuerdo con el análisis de varianza, la altura de planta y el número de hojas por planta mostraron incrementos altamente significativos ( $P \leq 0.01$ ) a causa del suministro foliar de *A. nodosum* y tierra de diatomeas. En el caso del diámetro del tallo no se presentaron incrementos significativos (Cuadro 1).

Las plantas que presentaron la mayor longitud de la guía fueron a las que se suministró de manera individual *A. nodosum* en dosis de 0.5 g L<sup>-1</sup> y tierra de diatomeas en dosis de 1.0 g L<sup>-1</sup> y 1.5 g L<sup>-1</sup>, los incrementos con relación a las plantas del testigo fueron de 16.4 a 20 %. Así mismo, de manera general el número de hojas por planta resultó favorecida por la aplicación de *A. nodosum* y tierra de diatomeas, ya que con *A. nodosum* en dosis de 0.5 y 1.0 g L<sup>-1</sup> se registraron las plantas con más hojas, así como con la aplicación de tierra de diatomeas a 1.0 y 1.5 g L<sup>-1</sup> y con la aplicación conjunta de AN más tierra de diatomeas, con los que se presentaron un rango de aumento de 30 al 42 % respecto a las plantas sin aplicación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Prueba de comparación de medias de variables del frijol chino en espaldera de maíz en función de la aplicación de *Ascophyllum nodosum* y tierra de diatomeas.

Alga	Dosis (g L <sup>-1</sup> )	Longitud de la planta cm	Número de hojas No./planta	Diámetro del tallo cm	Número de vainas No./m <sup>2</sup>
<i>A. nodosum</i> (AN)	0.5	363.3 a <sup>†</sup>	634.3 a	1.80 a	76.95abc <sup>†</sup>
	1.0	335.3 abc	590.8 a	1.80 a	86.03 a
	1.5	320.8 bc	428.0 b	1.70 a	71.69 abc
Tierras de diatomeas (TD)	0.5	320.8 bc	435.5 b	1.53 a	68.66 cd
	1.0	352.3 ab	537.3 ab	1.60 a	70.41 bcd
	1.5	352.5 ab	628.0 a	1.65 a	83.98 ab
AN+TD	1.0	337.0 abc	579.7 a	1.53 a	79.48 abc
Control	0	302.8 c	445.3 b	1.58 a	56.64 d
Media		335.6	534.8	1.66	74.23
Prob. de F		**	**	NS	**
DMSH <sub>0.05</sub>		36.35	121.7	0.470	14.78
Coefficiente de variación %		8.0	9.60	11.96	8.39

<sup>†</sup>= medias con letras distintas en cada columna difieren estadísticamente (Tukey, p≤ 0.05). \*\* p≤

0.01. NS = no significativo. DMSH<sub>0.05</sub> = diferencia mínima significativa honesta.

### Rendimiento de vaina verde y número de vainas

El rendimiento de vaina verde y el número de vainas presentaron incrementos altamente significativos ( $P \leq 0.01$ ) debido a la aplicación foliar de *A. nodosum* y tierra de diatomeas en distintas dosis (Cuadro 1 y Figura 1).

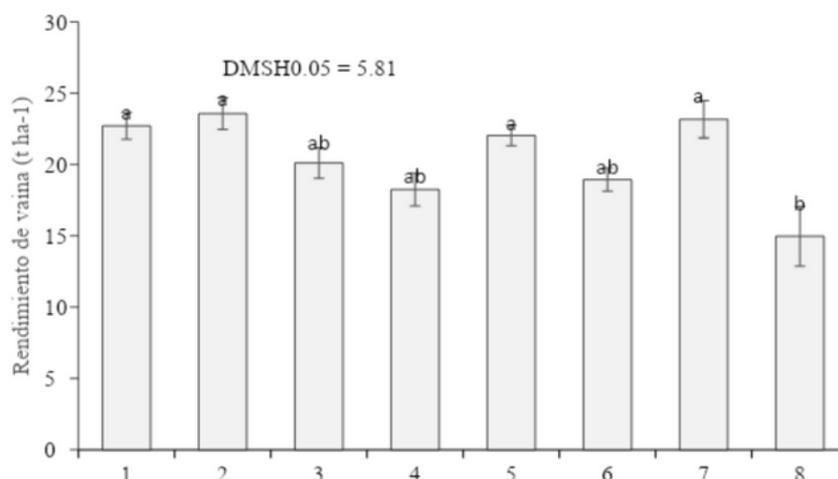


Figura 1. Efecto de *Ascophyllum nodosum* y tierra de diatomeas a concentraciones de 0.5, 1.0 y 1.5 g L<sup>-1</sup> en el rendimiento de vaina de frijol chino. DMSH<sub>0.05</sub> = diferencia mínima significativa honesta. n = 9 plantas por unidad experimental.

Se observó rendimiento significativamente mayor en las plantas tratadas individualmente con *A. nodosum* y tierra de diatomeas y la combinación de ambas AN+TD a 1.0 g L<sup>-1</sup>. Lo que representa un 57, 47 y 55 % más de rendimiento que lo registrado en las plantas del testigo sin aplicación (Figura 1). Con estos tratamientos se registró mejoras en la cantidad de vainas de las plantas,

que fue más evidente en las plantas con aplicación de *A. nodosum* a 1.0 g L<sup>-1</sup> (Cuadro 1). Así mismo, el efecto positivo en el rendimiento de vainas en frijol chino por la aplicación *A. nodosum* y tierra de diatomeas en frijol chino, se atribuye a que estas estimularon el crecimiento de la planta y la cantidad

de hojas (Cuadro 1), con lo que se pudo incrementar el tamaño de la maquinaria fotosintética y, por lo tanto, la producción de fotosintatos que contribuyen a la formación del rendimiento agronómico.

### Altura de la planta, diámetro del tallo y número de hojas en maíz

Cuadro 2. Prueba de comparación de medias de variables del maíz usado como espaldera del frijol chino en función de la aplicación de *Ascophyllum nodosum* y tierra de diatomeas.

Alga	Dosis (g L <sup>-1</sup> )	Altura de planta (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Número de hojas (No./planta)	Peso promedio de mazorca (G)
<i>A. nodosum</i> (AN)	0.5	201.8 abc <sup>†</sup>	2.9 a	19.3 a	161.5 bc
	1.0	244.0 a	3.0 a	19.8 a	175.3 bc
	1.5	192.0 bc	3.0 a	20.5 a	181.9 bc
Tierra de diatomeas (TD)	0.5	209.3 abc	3.1 a	20.5 a	167.2 bc
	1.0	228.3 ab	3.1 a	19.0 a	230.0 a
	1.5	227.0 ab	3.3 a	18.5 a	193.3 ab
AN+TD	1.0	190.0 bc	2.7 a	20.0 a	200.5 ab
Control	0	170.0 c	2.5 a	17.5 a	141.8 c
Media		207.8	2.95	19.38	294.4
Prob. F		**	NS	NS	**
DMSH <sub>0.05</sub>		46.02	1.05	4.07	73.7
Coefficiente de variación %		9.3	14.98	8.85	10.55

<sup>†</sup>= medias con letras distintas en cada columna difieren estadísticamente (Tukey, p $\leq$  0.05). \*\* p $\leq$  0.01. NS = no significativo. DMSH<sub>0.05</sub> = diferencia mínima significativa honesta.

El suministro foliar de *A. nodosum* a 1.0 g L<sup>-1</sup>, así como la aplicación de tierra de diatomeas a 1.0 y 1.5 g L<sup>-1</sup>, incrementaron la altura de la planta en 33 a 43 % en comparación con las plantas sin aplicación. Respecto al diámetro del tallo y número de hojas por planta, estos no se incrementaron a causa de los tratamientos evaluados. Las plantas presentaron diámetro del tallo de 2.5 a 3.3 cm, mientras que la cantidad de hoja por planta varió de 17.5 a 20.5 (Cuadro 2).

### Rendimiento de grano y peso de mazorcas

Los resultados obtenidos indican que la aplicación foliar de *A. nodosum* y tierra de diatomeas, suministradas de manera individual, a 1.0 y 1.5 g L<sup>-1</sup>, así como la aplicación combinada de ambos tipos de bioestimulantes a la dosis de 1.0 g L<sup>-1</sup>, generaron los mayores incrementos en el rendimiento de grano de maíz, que fueron de 32.5 a 42.5 %, respecto al testigo. Es decir, el rendimiento aumentó de 1.3 a 1.7 t ha<sup>-1</sup>. De manera general, se encontró que el peso de mazorcas se incrementó con la aplicación de AN y tierra de diatomeas, cabe destacar, que el híbrido de maíz utilizado produce entre una y dos mazorcas por planta, por lo que el peso de mazorcas y el número de mazorcas por planta pudieron ser determinantes en el rendimiento de grano.

### Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos bajo las condi-

ciones ambientales de producción, tanto en el cultivo de maíz como en el frijol chino, la aplicación foliar de los bioestimulantes de *A. nodosum* polvo 100 % puro y tierra de diatomeas aplicados de manera foliar disueltos en agua son alternativas para mejorar el rendimiento agronómico, sin embargo, con relación a la dosis más apropiada, se encontraron variaciones. En el caso del frijol chino, la aplicación de *A. nodosum* a la dosis de 0.5 g L<sup>-1</sup> generó de los más altos rendimientos de vaina verde, aunque en el caso del maíz esta dosis no incrementó el rendimiento de grano, lo que puede indicar que el maíz requiere mayores dosis de estos productos. Por otra parte, en ambas especies, la aplicación de *A. nodosum* + tierra de diatomeas a 1.0 g L<sup>-1</sup> fue de los tratamientos que más favorecieron el rendimiento, tanto de vaina verde de frijol chino como de grano de maíz.

Los resultados sobre el efecto positivo de la aplicación del alga marina *A. nodosum* se pueden atribuir a que son fuente importante de diversos compuestos bioactivos, proteínas, carbohidratos aminoácidos, fitohormonas, osmoprotectores y nutrientes minerales (Raghunandan *et al.*, 2019). Lo que pudo mejorar la nutrición del frijol chino y el maíz, y por la presencia de osmoprotectores, y reducir el estrés provocado por las altas temperaturas presentes en el sitio de producción, con temperaturas máximas entre 33.6 a 40.0 °C.

En donde las temperaturas más altas se presentaron

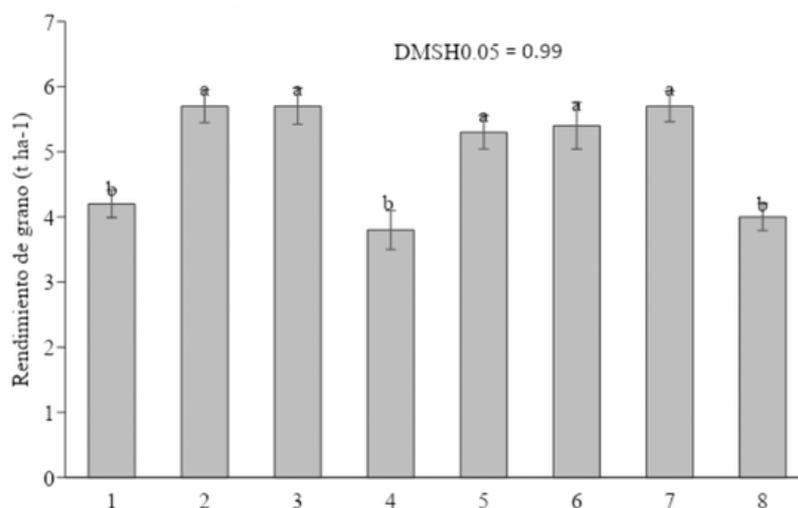


Figura 2. Efecto de *Ascophyllum nodosum* y tierra de diatomeas a concentraciones de 0.5, 1.0 y 1.5 g L<sup>-1</sup> en el rendimiento de grano de maíz L<sup>-1</sup>. DMSH<sub>0.05</sub> = diferencia mínima significativa honesta. n = 9 plantas por unidad experimental.

de los cultivos. El incremento en el rendimiento agronómico por la aplicación foliar de *A. nodosum* se puede atribuir también a que contienen esterol que pertenece a un grupo de lípidos esenciales, fucosterol primario y derivados de fucosterol; que son componentes esenciales de las paredes celulares y que han presentado efecto positivo en el crecimiento de las plantas (Alam *et al.*, 2014).

Así mismo, se han encontrado que los extractos de *A. nodosum* son ricos en citoquininas y auxinas, que estimulan fuertemente el crecimiento de la raíz, la división celular y la diferenciación (Wally *et al.*, 2012; Ertani *et al.*, 2018). Además, se menciona que la aplicación de extractos de *A. nodosum* en plantas de maíz aumenta la actividad de la enzima esterasa, considerada como un marcador del desarrollo de la planta involucrada en organogénesis, lo que se relaciona con el aumento en la producción agrícola. Al respecto, Ertani *et al.* (2018) encontró que en plantas de maíz tratadas con extractos de *A. nodosum* incrementaron la longitud de raíz, hasta en 88 % respecto a las plantas del testigo, así como la superficie de raíz, con lo que se mejoró la nutrición de la planta por la mayor en la absorción nutricional, esto favoreció el aumento en el contenido foliar de Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Mo, Zn y B. Situación que pudo favorecer el rendimiento de vaina del frijol chino y de grano en el cultivo de maíz en el presente estudio.

De acuerdo con Khan *et al.* (2009) y Espinosa-Antón *et al.* (2020) los posibles mecanismos por los que se mejora el rendimiento de los cultivos con la aplicación de algas marinas, es por el incremento en la eficiencia de la actividad fotosintética y asimilación del carbono, retraso en la senescencia foliar, con relación al otorgamiento de resistencia a factores abióticos adversos como las altas temperaturas, indican que reducen la evapotranspiración, mejoran la conductancia estomática y sobre regulación de enzimas biosintéticas. Además, mejoran la nutrición de la planta por el aporte de macro y micronutrientes esenciales para las plantas. Además del suministro de las algas marinas como extractos, de acuerdo con los resultados del presente estudio, también el suministro del bioestimulante como polvos 100 % puros de algas *Ascophyllum nodosum* disueltos en agua es efectivos para mejorar la producción de la asociación frijol chino y maíz, con las ventajas que

conlleva este tipo de cultivos respecto a la complementación entre ellos desde el punto de vista fisiológico, nutricional (Apérez-Barrios *et al.*, 2013) y que el maíz le sirve a esta planta como espaldera viva .

Con relación a la aplicación de tierra de diatomeas, el efecto positivo sobre el rendimiento de grano y de vaina se puede atribuir a que contienen niveles elevados de Si amorfo (Nascimento *et al.*, 2021), en el presente estudio la fuente de tierra de diatomeas presenta un 90.8 % de SiO<sub>2</sub>, que ha demostrado capacidad de actuar como un factor de señalización, que redirige el metabolismo primario de plantas, lo cual incrementa el flujo de fotoasimilados y aminoácidos de partes vegetativas a órganos productivos (Coskun *et al.*, 2019). La respuesta positiva del incremento en el rendimiento agronómico con aplicación de Si se ha documentado en cultivos como el arroz (*Oryza sativa* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.), lo que puede atribuirse a que este elemento reduce diferentes tipos de estrés en las plantas y favorece la actividad fotosintética (Prakash *et al.*, 2011; Raya-Montañó *et al.*, 2022). Así mismo, la tierra de diatomeas además son fuente de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, TiO, CaO, MgO y P<sub>2</sub>O; por lo que aportan elementos esenciales y elementos benéficos en la nutrición de las plantas (Reka *et al.*, 2021)

Cabe destacar, que, en el presente estudio, en la asociación frijol chino en espaldera viva de maíz, la aplicación combinada del *A. nodosum* y tierra de diatomeas no presentó un efecto sinérgico, al mostrar respuesta similar a la aplicación individual. Por lo que con uno solo de estos productos aplicado en la dosis de 1.0 g L<sup>-1</sup>, es favorable para mejorar el rendimiento de ambas especies bajo las condiciones de producción del presente estudio.

## Conclusiones

La aplicación foliar de la macroalga *Ascophyllum nodosum* y tierra de diatomeas aplicadas de manera individual y en combinación en la asociación frijol chino en espaldera viva de maíz, incrementaron el rendimiento de grano y de vaina verde, como consecuencia del aumento en la longitud de la guía, número de hojas y número de vainas en frijol chino y la altura de la planta y peso de la mazorca en el maíz.

La aplicación individual de *Ascophyllum nodosum* y tierra de diatomeas a 1.0 g L<sup>-1</sup> y el suministro combinado de *Ascophyllum nodosum* más tierra de diatomeas ambas a la dosis de 1.0 g L<sup>-1</sup>, provocaron la más alta producción de vainas de frijol chino y grano en el cultivo de maíz.

Por lo que la aplicación de *Ascophyllum nodosum* y tierra de diatomeas son una opción para mejorar la producción de frijol chino y maíz.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecemos a la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por el apoyo económico otorgado mediante el proyecto de investigación aprobado en la convocatoria del año 2022.

## Literatura citada

- Aguirre, L. E., Ouyang, L., Elfving, A., Hedblom, M., Wulff, A. y Inganäs, O. (2018). Diatom frustules protect DNA from ultraviolet light. *Scientific Reports*, 8(1), 5138. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21810-2>
- Alam, M.Z., Braun, G., Norrie, J. y Hodges, D.M. (2013). Effect of Ascophyllum extract application on plant growth, fruit yield and soil microbial communities of strawberry. *Canadian Journal of Plant Science*, 93(1), 23-36. <https://doi.org/10.4141/cjps2011-260>
- Alam, Z.M., Braun, G., Norrie, J. y Hodges, D. M. (2014). Ascophyllum extract application can promote plant growth and root yield in carrot associated with increased root-zone soil microbial activity. *Canadian Journal of Plant Science*, 94(2), 337–348. <https://doi.org/10.4141/cjps2013-135>
- Ali, O., Ramsubhag, A. y Jayaraman, J. (2021). Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. *Plant*, 10(3), 531. <https://doi.org/10.3390/plants10030531>
- Andreotti, C., Roupahel, Y., Colla, G. y Basile, B. (2022). Rate and timing of application of biostimulant substances to enhance fruit tree tolerance toward environmental stresses and fruit quality. *Agronomy*, 12(3), 603. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030603>
- Apáez-Barrios, P., Escalante-Estrada, J.A.S. y Rodríguez-González, M. (2013). Producción de vaina verde en frijol chino y tipo de espaldera en clima cálido. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(1), 129-140. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2010.09.035>
- Castro, G.A., Crusciol, C.C., da Costa, C.M., Ferrari-Neto, J. y Mancuso, M.C. (2016). Surface application of limestone and calcium-magnesium silicate in a tropical no-tillage system. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16(2), 362-379. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162016005000034>
- Constantinescu-Aruxandei, D., Lupu, C. y Oancea, F. (2020). Siliceous natural nanomaterials as biorationals—plant protectants and plant health strengtheners, *Agronomy*, 10(11): 1791. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111791>
- Coskun, D., Deshmukh, R., Sonah, H., Menzies, J. G., Reynolds, O., Feng, M. J., Kronzucker, H. J. y Bélanger, R.R. (2019). The controversies of silicon's role in plant biology. *New Phytologist*, 221, 67-85. <https://doi.org/10.1111/nph.15343>
- Ertani, A., Francioso, O., Tinti, A., Schiavon, M., Pizzeghello, D. y Nardi, S. (2018). Evaluation of seaweed extracts from *Laminaria* and *Ascophyllum nodosum* spp. as biostimulants in *Zea mays* L. using a combination of chemical, biochemical and morphological approaches. *Frontiers in Plant Science*, 9, 428. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00428>
- Espinosa-Antón, A.A., Hernández-Herrera, R.M. y González-González, M. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas. *Bioteología Vegetal*, 20(4), 257-282.
- García E. (2004). *Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen*. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Khan, W., Rayirath, U.P., Subramanian, S., Jithesh, M.N., Rayorath, P., Hodges, D.M. y Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28(4), 386-399. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>
- Kongjaimun, A., Kaga, A., Tomooka, N., Somta, P., Shimizu, T., Shu, Y. y Srinives, P. (2012). An SSR-based linkage map of yardlong bean (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. unguiculata Sesquipedalis Group) and QTL analysis of pod length. *Genome*, 55(2), 81-92.
- Liang, Y., Nikolic, M., Bélanger, R., Gong, H. y Song, A. (2015). Effect of silicon on crop growth, yield and quality. En: Y. Liang, M. Nikolic, R. Bélanger, H. Gong, A. Song. *Silicon in Agriculture, from Theory to Practice*. Berlín, Springer. (pp. 209-223).
- Mirparsa, T., Ganjali, H. R. y Dahmardeh, M. (2016). The effect of bio fertilizers on yield and yield components of sunflower oil seed and nut. *International Journal of Agriculture and Biosciences*. 5(1), 46-49.

- Nascimento, C.W.A.D., Silva, F.B.V.D., Araújo, P.R.M., Araújo, J.D.C.T.D. y Lins, S.A.D.S. (2021). Efficiency and recovery index of silicon of a diatomaceous Earth-based fertilizer in two soil types grown with sugarcane and maize. *Journal of Plant Nutrition*, 44(16), 2347-2358. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1918157>
- Pati, S., Pal, B., Badole, S., Hazra, G. C. y Mandal, B. (2016). Effect of silicon fertilization on growth, yield, and nutrient uptake of rice. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(3), 284-290. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1122797>
- Prakash, N.B., Chandrashekar, N., Mahendra, C., Patil, S.U., Thippeshappa, G.N. y Laane, H.M. (2011). Effect of foliar spray of soluble silicic acid on growth and yield parameters of wetland rice in hilly and coastal zone soils of Karnataka, South India. *Journal of Plant Nutrition*, 34(12), 1883-1893.
- Prakash, N.B., Anitha, M.S. y Sandhya, K. (2019). Behaviour of different levels and grades of diatomite as silicon source in acidic and alkaline soils. *Silicon*, 11, 2393-2401. <https://doi.org/10.1007/s12633-015-9373-9>
- Raghunandan, B.L., Vyas, R.V., Patel, H.K. and Jhala, Y.K. (2019). Perspectives of seaweed as organic fertilizer in agriculture. *Soil fertility management for sustainable development*. Springer, Singapore. (pp. 267-289).
- Raya-Montaña, Y.A., Apáez-Barrios, M., Lara-Chávez, M.B.N. y Apáez-Barrios, P. (2022). Producción de girasol (*Helianthus annuus* L.) con aplicación foliar de tierra diatomea. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 8(1), <https://doi.org/10.30973/aap/2022.8.0081001>
- Reka, A. A., Pavlovski, B., Fazlija, E., Berisha, A., Pacarizi, M., Daghmehchi, M., ... y Oral, A. (2021). Diatomaceous Earth: Characterization, thermal modification, and application. *Open Chemistry*, 19(1), 451-461. <https://doi.org/10.1515/chem-2020-0049>
- Rezakhani, L., Motesharezadeh, B., Tehrani, M. M., Etesami, H. y Hosseini, H.M. (2019). Phosphate-solubilizing bacteria and silicon synergistically augment phosphorus (P) uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) plant fertilized with soluble or insoluble P source. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 173, 504-513. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.060>
- Rouphael, Y. y Colla, G. (2020). Toward a sustainable agriculture through plant biostimulants: From experimental data to practical applications. *Agronomy*, 10(10), 1461. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101461>
- SAS (Statistical Analysis Systems). (2017). SAS/STAT User's guide, version 9.4. SAS Institute Inc. North Caroline, USA.
- Shahbazi, F., Nejad, M.S., Salimi, A. y Gilani, A. (2015). Effect of seaweed extracts on the growth and biochemical constituents of wheat. *International Journal of Agricultural Science*, 8(3), 283-287.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2021). Cierre de la producción agrícola 2021. Disponible en <<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>>. [Consultado 20 Septiembre 2022].
- Tuhy, Ł., Samoraj, M., Baśladyńska, S. y Chojnacka, K. (2015). New Micronutrient Fertilizer Biocomponents Based on Seaweed Biomass. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(5), 2213-2221. <https://doi.org/10.15244/pjoes/39552>
- Wally, O.S., Critchley, A.T., Hiltz, D., Craigie, J. S., Han, X., Zaharia, L.I. y Prithiviraj, B. (2012). Regulation of phytohormone biosynthesis and accumulation in Arabidopsis following treatment with commercial extract from the marine macroalga *Ascophyllum nodosum*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32(2), 324-339.