

## 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*)

### Effect of *Ulva lactuca* and *Gracilaria blodgettii* Flours on the Physical and Chemical Properties of an Alkaline Soil and the Growth of Swiss Chard (*Beta vulgaris* var. *cycla*)

Mayra Mariana Morales-Aparicio<sup>1</sup> , Fernando Ayala-Niño<sup>2</sup> ,  
Ángela Catalina Mendoza-González<sup>1</sup> y Luz Elena Mateo-Cid<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Ficología. Prolongación Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomas. 11340 Ciudad de México, México; (M.M.A.), (A.C.M.G.), (L.E.M.C.).

<sup>†</sup> Autora para correspondencia: luzmcyd@gmail.com

<sup>2</sup> Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Laboratorio de Edafología Aplicada y Servicios Ambientales. Av. de los Barrios 1, Los Reyes Iztacala Barrio de los Árboles. 54090 Tlalnepan de Baz, Estado de México México; (F.A.N.).

## RESUMEN

El empleo de algas marinas como biofertilizantes tiene efectos positivos en el crecimiento y desarrollo de diversos cultivos como en la mejora del suelo. El propósito fue evaluar su efecto en algunas propiedades fisicoquímicas de un suelo alcalino y en el crecimiento de *Beta vulgaris* var. *cycla* (acelga). En este estudio se utilizaron harinas de *Ulva lactuca* y *Gracilaria blodgettii* en un suelo Vertisol. Se evaluaron tres tratamientos, 3, 6 y 9 g kg<sup>-1</sup> de suelo en macetas de 5 kg, y un testigo sin harina. El bioensayo se realizó en un invernadero, cada tratamiento tuvo cinco repeticiones. Se realizaron análisis bromatológicos y de metales en ambas harinas. En el suelo se analizó: textura, capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica (MO), humedad relativa (HR), conductividad eléctrica (CE), pH, capacidad de retención de agua (CRA), Na, K, P y N. En las acelgas fueron medidos: crecimiento semanal y total, biomasa fresca y seca. Los resultados indicaron que ambas especies incrementan los contenidos de MO en el suelo, siendo más notable *G. blodgettii* de 1.48-2.7%. En contraste *U. lactuca*, modificó el pH disminuyendo la alcalinidad del suelo de 9.01 a 7.47, el incremento de la CIC de 48.28 meq 100 g<sup>-1</sup> a 48.72 meq 100 g<sup>-1</sup>, CRA de 90 a 92.8%, capacidad de sodio intercambiable de 98 a 100 mg kg<sup>-1</sup> y potasio 125 a 142 mg kg<sup>-1</sup>. La adición de la harina de *U. lactuca* fue benéfica sobre el suelo, lo que permitió el crecimiento de las acelgas con significancias en altura total ( $P = 0.02621$ ) y biomasa seca ( $P = 0.007867$ ). Se infiere que la concentración de cenizas totales en *U. lactuca*, se relaciona con el contenido de minerales y su efecto biofertilizante, sin embargo, se requieren investigaciones adicionales para determinar las concentraciones óptimas en suelos alcalinos.

**Palabras clave:** agricultura orgánica, algas marinas, biofertilizante, fertilidad, recurso natural.

## SUMMARY

The use of seaweed as biofertilizers has positive effects on the growth and development of various crops as well as on soil improvement. The purpose was to evaluate its effect on some physicochemical properties of an alkaline soil and on the growth of *Beta vulgaris* var. *cycla* (Swiss chard). In this study, flours of *Ulva lactuca* and *Gracilaria blodgettii* were used in a Vertisol soil. Three treatments were evaluated: 3, 6, and 9 g kg<sup>-1</sup> of soil in 5 kg pots, and a control without flour. The bioassay was



### Cita recomendada:

Morales-Aparicio, M. M., Ayala-Niño, F., Mendoza-González, A. 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. e1895. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.1895>

Recibido: 12 de marzo de 2024.  
Aceptado: 1 de octubre de 2024.  
Artículo. Volumen 43.  
Enero de 2025.

Editor de Sección:  
Dr. Pedro Antonio Núñez Ramos

Editor Técnico:  
Dr. Fermín Pascual Ramírez



**Copyright:** © 2025 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/>).

conducted in a greenhouse, with each treatment having five replicates. Bromatological and metal analyses were performed on both flours. The soil was analysed for texture, cation exchange capacity (CEC), organic matter (OM), relative humidity (RH), electrical conductivity (EC), pH, water retention capacity (WRC), Na, K, P, and N. In the Swiss chard, weekly and total growth, fresh and dry biomass were measured. The results indicated that both species increased OM content in the soil, with *G. blodgettii* being more notable from 1.48-2.7%. In contrast, *U. lactuca* modified the pH, reducing soil alkalinity from 9.01 to 7.47, increased CEC from 48.28 meq 100 g<sup>-1</sup> to 48.72 meq 100 g<sup>-1</sup>, WRC from 90 to 92.8%, exchangeable sodium capacity from 98 to 100 mg kg<sup>-1</sup>, and potassium from 125 to 142 mg kg<sup>-1</sup>. The addition of *U. lactuca* flour was beneficial to the soil, allowing the growth of Swiss chard with significant increases in total height ( $P = 0.02621$ ) and dry biomass ( $P = 0.007867$ ). It is inferred that the total ash concentration in *U. lactuca* is related to the mineral content and its biofertilizer effect; however, additional research is required to determine the optimal concentrations in alkaline soils.

**Index words:** organic agriculture, seaweed, biofertilizer, fertility, natural resource.

## INTRODUCCIÓN

El uso de fertilizantes (nitrogenados, fosfatados, potásicos y otros) es la base de la producción agrícola (González-Estrada y Camacho, 2017); sin embargo, esta práctica ha provocado pérdida de fertilidad por acidificación, salinización, alcalinización y reducción de microorganismos en el suelo (Hamadani *et al.*, 2021), lo que afecta el desarrollo y rendimiento de los cultivos. Esta situación ha vuelto contraproducente e indispensable la fertilización química para la producción de alimentos, con la consecuente degradación del suelo (Pahalvi, Rafiya, Rashid, Nisar y Kamili, 2021).

Para disminuir el impacto de la producción agrícola, se han explorado alternativas como el uso de fertilizantes (abonos) orgánicos, así surge la agricultura orgánica con un enfoque sustentable ante la agricultura convencional (Zamilpa, Schwentesius-Rinderman y Ayala-Ortiz, 2016). Las prácticas locales más comunes consisten en el establecimiento de leguminosas por su capacidad para fijar nitrógeno, incorporación de residuos de cosecha, estiércol y composta durante la labranza, mientras se exploran otras opciones como el uso de algas marinas (Kumar, Verma, Umaraw, Mehta y Malav, 2020; Bharath, Nirmalraj, Mahendrakumar y Perinbam, 2018). En este sentido las algas marinas, durante décadas han brindado diversos beneficios ambientales a la humanidad, no solo como alimento (Hong, Hien y Son, 2007), sino se ha encontrado que las culturas prehispánicas las utilizaban para fertilizar el suelo y mejorar la productividad de los cultivos, aplicándolas frescas o secas en zonas cercanas a las costas (Chapman y Chapman, 1980; Singh, Kelloway, Critchley y Prithiviraj, 2014).

Las algas marinas contienen metabolitos, fitohormonas, macro y micronutrientes, así como compuestos que estimulan el crecimiento y desarrollo de las plantas (Hernández-Herrera *et al.*, 2018), por lo que constituyen una alternativa eficaz para reducir el uso de fertilizantes químicos. Su efecto se ha probado a través de extractos algales (ELAS) en diversos cultivos, logrando resultados positivos en la germinación de las semillas (Castellanos-Barriga, Santacruz, Hernández, Ramírez y Hernández, 2017), crecimiento y producción de frutos (Battacharyya, Zamani, Rathor y Prithiviraj, 2015; Hernández-Herrera, Santacruz, Zañudo y Hernández, 2016). Además, son capaces de promover la tolerancia al estrés abiótico y biótico (Raghunandan, Vyas, Patel y Jhala, 2019) y la resistencia a patógenos (Shukla, Borza, Critchley y Prithiviraj, 2016; Ali, Ramsabhag y Jayaraman, 2021; Sammi-Reddy, Wakchaure, Khapte y Chagan, 2023). Por otro lado, sus compuestos mejoran algunas propiedades del suelo (Hamed y Messiha, 2018), favoreciendo la fijación e intercambio de cationes y la absorción de nutrientes esenciales en las plantas (Zhou, Qiu, Zhang y Tao, 2019).

Las algas marinas más utilizadas como biofertilizantes son las algas pardas (Soto-Jimenez, Ochoa y Bojorquez, 2019; Raghunandan *et al.*, 2019), debido a su abundante biomasa en las zonas costeras del norte de México. Sin embargo, también existen poblaciones representativas de algas verdes y rojas en las zonas costeras del Golfo de México (García-López, Mateo-Cid y Mendoza-González, 2017). El estado de Veracruz, con su extenso litoral, alberga una gran diversidad biológica entre los estratos rocosos, que incluyen las poblaciones de *Ulva lactuca* y *Gracilaria blodgettii* (De la Cruz-Francisco *et al.*, 2017).

La mayoría de las investigaciones sobre el uso de harinas algales se han enfocado en la producción de alimentos (Mamat *et al.*, 2021; Quitral, Sepúlveda, Gamero y Jiménez, 2022; Rahim, Utami y Budi, 2023). Aunque existen algunos estudios sobre la composición química de *U. lactuca* y *G. blodgettii* (Aroyehun, Palaniveloo, Ghazali, Rizman-Idid y Abdul, 2019; Espinosa-Antón, Hernández y González, 2021; Nissen, Juul, Bruhn, Søndergaard y Dalsgaard, 2024), sus efectos biofertilizantes aún son escasos (Perpetuo, de Carvalho-Junior, Facchinei, dos Santos-Calheiros y Castelar, 2018). Con base en lo anterior, se considera relevante enfocar los esfuerzos para conocer sus beneficios en la agricultura orgánica, junto al estudio de los métodos tradicionales y modernos de extracción de compuestos bioactivos de las algas marinas (Espinosa-Antón, Hernández y González, 2020).

En consecuencia, el objetivo del presente estudio fue investigar el efecto de las harinas crudas de *U. lactuca* y *G. blodgettii*, sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo Vertisol alcalino y su efecto en el crecimiento de acelga (*Beta vulgaris var. cycla*).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Recolecta de Algas Marinas

Los especímenes de *Ulva lactuca* (Ul) y *Gracilaria blodgettii* (Gb), fueron recolectados en la playa el Pulpo, Barra de Cazonos localizada a 1 km de la desembocadura del Río Cazonos, ubicada entre los 20° 43' 33.98" N, 97° 11' 41" O y 20° 44' 7" N, 97° 11' 42" O, a 10 metros de altitud, en el municipio de Cazonos de Herrera, Veracruz, México. La recolecta se realizó a mano con ayuda de espátulas en la zona intermareal rocosa, donde las poblaciones de Ul y Gb son abundantes. Se recolectaron aproximadamente 15 kg de biomasa de cada especie. Posteriormente, se lavaron los materiales con agua de mar en el sitio de colecta y fueron secados al aire libre durante 10 horas sobre rejillas de plástico. Una vez semisecas se trasladaron al Laboratorio de Ficología de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB), del Instituto Politécnico Nacional, donde se volvieron a lavar tres veces, utilizando seis litros de agua por cada kg de biomasa algal. El primer lavado fue con agua potable, el segundo con agua corriente y el tercero con agua bidestilada para eliminar el exceso de sal y epibiontes, (Castellanos-Barriga *et al.*, 2017). Luego, se secaron a temperatura ambiente durante tres días sobre bandejas de aluminio. Las muestras secas, se trituraron con un procesador de alimentos marca Nutribullet® modelo NBR-0601, hasta obtener una harina fina y esponjosa en el caso de *U. lactuca* y para *G. blodgettii* se obtuvo una harina dura y granulada (Uribe-Orozco *et al.*, 2018).

### Composición Química de la Harina de *Ulva lactuca* y *Gracilaria blodgettii*

**Análisis bromatológico.** Se utilizaron 200 g de harina de Ul y Gb para determinar la energía metabolizable (Kcal), cenizas (g 100 g<sup>-1</sup>), fibra (g 100 g<sup>-1</sup>) y proteína cruda (g 100 g<sup>-1</sup>), según los métodos descritos por Díaz (2017), en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Bromatología y Agua de la Universidad Veracruzana, a través de un espectrofotómetro de UV-V Thermo Scientific Genesys 20.

**Análisis de metales pesados.** Se utilizaron 5 g de Ul y Gb de acuerdo con la NOM-NMX-AA-051-SCFI-2016 (Contreras, Santos, Márquez, Guzmán y Alfaro, 2018) para determinar la presencia de Cu, Cd, Cr, Ni, Pb y Zn (mg kg<sup>-1</sup>). El trabajo de laboratorio fue en el Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre el Medio Ambiente (CIEMAD), donde se usó un espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer Pinaacle 900T) a una longitud de onda entre 200 y 400 nm, para la determinación mediante la técnica de flama y aspiración directa analizado con el software "Syngistix AA Flame" (PerkinElmer, 2023).

### Obtención de Suelo para Bioensayo

El suelo empleado para este bioensayo corresponde a un Vertisol según la WRB (World Reference Base) y se obtuvo de un predio utilizado para cultivo de frijol en el municipio de Acuecomac, San Salvador Atenco, Estado de México, ubicada en las coordenadas 19° 56.29" N y 98° 92.33" O a 2242 metros de altitud. Para su colecta se utilizaron palas tipo D, el suelo se tomó a una profundidad de 0-20 cm y se colocó en costales de 20 kg, los cuales fueron transportados al invernadero de la ENCB (Uribe-Orozco *et al.*, 2018).

**Análisis fisicoquímico del suelo.** Las características fisicoquímicas del suelo se evaluaron según los procedimientos descritos por Muñoz-Iniestra, Soler, López y Hernández (2020). Se tomaron muestras iniciales de suelo sin harina, antes del bioensayo. A los 106 días, cuando finalizó el bioensayo, se generaron muestras compuestas para determinar: textura a través del método de Bouyoucos, MO con el método de Walkley y Black, el

pH con un potenciómetro Hanna HI 5525 pH/TDS/Resist/°C, CE mediante el método del puente de conductividad de Wheatstone, la CIC por el método del Versenato y la HR con el método gravimétrico. Las determinaciones se realizaron en el Laboratorio de Microbiología del Suelo de la ENCB. La capacidad intercambiable de Na y K, P asimilable y N total se analizaron en el Laboratorio de Edafología de la Unidad de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO), de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de la UNAM, para los cuales se utilizaron 30 g de muestra. El Na y K fueron determinado a través de un flamómetro (Jenway Flame Photometer) a una longitud de onda de 589~ nm y 766~ nm respectivamente, el fósforo se determinó mediante un espectrofotómetro (Thermo Scientific Genesys 20) y el N total mediante el método Kjeldahl.

## Preparación del Bioensayo

El bioensayo se preparó siguiendo la metodología propuesta por Uribe-Orozco *et al.* (2018) y Mendoza-Morales (2020<sup>1</sup>). Se realizaron tres diferentes mezclas de harina más suelo, con 3, 6, y 9 g kg<sup>-1</sup> de suelo en macetas de 5 kg, además de un grupo testigo sin aplicación de harina. Para la mezcla de 3 g por kg<sup>-1</sup>, se utilizaron 15 g de harina por maceta, para la mezcla de 6 g por kg<sup>-1</sup>, se emplearon 30 g de harina y para la mezcla de 9 g por kg<sup>-1</sup>, se usaron 45 g por maceta. Se usó un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones para cada mezcla y cinco repeticiones para el testigo, resultando en 20 macetas para *U. lactuca* y 20 para *G. blodgettii*, obteniendo en total 40 macetas. Las mezclas se dejaron reposar durante treinta y cinco días en el invernadero de la ENCB como lo indica Uribe-Orozco *et al.* (2018). Transcurrido el tiempo de reposo de la mezcla, se llevó a cabo la siembra a una temperatura de 20.2 °C y humedad de 79.07%, parámetros que fueron registrados con ayuda de un termómetro-hidrómetro Mengshen® modelo M86. Se emplearon semillas comerciales de *Beta vulgaris* var. *cycla* marca AQTEX®. Las semillas se sembraron manualmente, colocando tres semillas por maceta a una profundidad no mayor de 1.5 centímetros.

## Variables

**Acelgas.** Para el cultivo de acelga se evaluó el crecimiento semanal (cm), la altura total (cm), así como biomasa fresca y seca (g). La altura se midió con una cinta métrica HOECHST® H-59202, desde la base de la roseta hasta el ápice de las hojas cada semana. Al término del bioensayo se cosecharon las acelgas, midiendo la altura total y el peso de cada planta en una balanza OHAUS Cent-o-Gram; posteriormente se secaron en una secadora botánica durante tres días y se obtuvo el peso seco.

## Análisis de Datos

Se utilizó un ANOVA de una vía ( $\alpha = 0.05$ ) y se contrastó el efecto de las harinas de UI y Gb en la altura y la biomasa de las acelgas entre tratamientos y el testigo. Además, se planteó una prueba de comparaciones múltiples de Tukey y U de Mann-Whitney para distinguir el mejor tratamiento. Los análisis se llevaron a cabo con el software Past 4.0 (Hammer, Harper y Ryan, 2001).

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## Composición Química de las Harinas de *Ulva lactuca* y *Gracilaria blodgettii*

**Análisis bromatológico.** La fibra y proteína cruda se encontraron en mayor abundancia en Gb con valores de 12.93±5.91% y 10.61±0.71% respectivamente, mientras que las cenizas totales y energía metabolizable fueron más altas en UI con 27.09±1.56% y 2.92±2.66 Kcal (Cuadro 1). El resultado obtenido para las cenizas totales coincide con lo reportado por Castellanos-Barriga *et al.* (2017), quienes reportaron un valor de 25.9% al analizar el efecto de UI recolectada en La Paz, Baja California Sur, en la germinación de semillas de frijol bajo condiciones controladas de laboratorio. Sin embargo, Carvalho *et al.* (2009) sugieren que la fibra es más abundante (399.2±13.0%), lo cual difiere con los resultados obtenidos, ya que la fibra cruda es el componente con menor proporción en UI, con 6.12±0.50%. Los valores encontrados para Gb en cuanto a la fibra y proteína cruda son superiores a los reportados por Castellanos-González *et al.* (2003), quienes caracterizaron químicamente a Gb de la Bahía de Cienfuegos Cuba, con 4.57 y 9.6% respectivamente.

<sup>1</sup> Mendoza-Morales, L. T. (2020). Efecto de la harina de *Sargassum filipendula* (Phaeophyceae) y *Ulva lactuca* (Ulvophyceae) como bioestimulantes en el crecimiento de *Zea mays* ssp. *mays* y mejorador del suelo. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional.

**Cuadro 1. Análisis bromatológico de las harinas de *Ulva lactuca* y *Gracilaria blodgettii*.  
Table 1. Bromatological analysis of the flours of *Ulva lactuca* and *Gracilaria blodgettii*.**

Propiedades organolépticas	Gb	Ul
g 100 g <sup>-1</sup> masa seca	----- % -----	
Proteína Cruda	10.61±0.71	10.58±0.02
Cenizas Totales	12.52±1.05	27.09±1.56
Fibra Cruda	12.93±5.91	6.12±0.50
Energía Metabolizable (Kcal)	2.78±0	2.92±2.66

± DS. Gb = *Gracilaria blodgettii*, Ul = *Ulva lactuca*.± DS. Gb = *Gracilaria blodgettii*, Ul = *Ulva lactuca*.

**Concentraciones de metales pesados.** Como se muestra en el Cuadro 2, Gb contiene menor concentración de Cu, Cd, Ni, Pb y Zn con 0.003, 0.001, 0.004 y 0.034 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. La mayor concentración de Zn (0.056 mg kg<sup>-1</sup>) se encontró en Ul, que contrasta con lo mencionado por Nabti, Jha y Hartman (2016), quienes reportan la concentración de Zn en 0.001 mg kg<sup>-1</sup> en el género *Ulva*, en la India, aunque sin especificar detalles agronómicos de la prueba. Por otro lado, Montero, Miramontes, Andrade y Sio (1999) en un suelo Cambisol Húmico de España con cultivo de cebada, mencionan que Ul tuvo alto contenido de Ca, Mg, Al, Fe, y Zn, así como baja concentración de Co, Cu y Mn. En el presente estudio, se observó que Ul tiene bajas concentraciones de Cd y Cr con valores inferiores a 0.002 mg kg<sup>-1</sup>. La presencia de metales pesados en las algas marinas, indican la capacidad de bioabsorción, debido a que las algas son idóneas para remover nanopartículas fitotóxicas de Cr, Hg, Pb, Co y Cd como en el caso de *Padina pavonica* y *Sargassum acinarium* que remueven Pb a través de la síntesis biológica de nanopartículas de óxido de hierro (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), (Tuhy, Samoraj, Basladyńska y Chojnacka, 2015, El-Kassas, Aly-Eldeen y Gharib, 2016). En referencia a lo anterior, a pesar de que Montero *et al.* (1999), observaron altas concentraciones de zinc en Ul, también demostraron que, esta no tuvo un efecto residual tóxico al finalizar el cultivo, así mismo, se puede inferir que Ul, al no tener registros de alteraciones morfológicas, ha desarrollado algunas estrategias de adaptación fisiológica para tolerar altas concentraciones de zinc sin afectar su desarrollo y permanencia en su hábitat.

### Análisis Físicoquímico del Suelo

El suelo presentó una textura Franco-Arcillosa (Cuadro 3). Los análisis post-cosecha mostraron que ambas harinas incrementaron los contenidos de MO, siendo más notable con Gb6 que pasó de 1.48±0.28 a 2.7±0.14%. La harina de Ul no solo aumentó la materia orgánica de 1.48±0.28 a 1.75±0.22%, sino también la CIC de 47.28±0.20 a 48.72±0.10 meq 100 g<sup>-1</sup>, la capacidad de retención de agua de 89.2 a 90% y la capacidad de potasio intercambiable de 126 mg kg<sup>-1</sup> a 142 mg kg<sup>-1</sup>. Además, se observó una disminución del pH de 9±0.05 a 7.47±0.06. Estos resultados coinciden con los publicados por De Sosa *et al.* (2023), quienes utilizaron *Halopithys incurva*, *Laurencia obtusa* y *Halopteris scoparia* sobre un suelo Arenosol y el cultivo de uvas en diferentes tratamientos. En su estudio el pH aumentó de 6.98 a 7.44, así como la materia orgánica de 13 a 47%, obteniendo mayor rendimiento en los frutos. Illera-Vives, López-Fabal, López-Mosquera y Ribeiro (2015) mencionan que los extractos de *A. nodosum* mejoran la aireación y capacidad de retención de agua en el suelo, lo cual coincide con los resultados obtenidos con Ul.

La mejora de las propiedades físicoquímicas del suelo se debe a que algunos compuestos presentes en las algas reaccionan con ciertos iones, facilitando la absorción de nutrientes en las plantas (Spinelli, Fiori, Noferini, Sprocatti y Costa, 2010). Por otro lado, en cuanto al fósforo asimilable y nitrógeno total no se observaron cambios.

### Crecimiento de las Acelgas

El análisis de ANOVA indicó diferencias significativas ( $P = 0.0225$ ) en la altura de las acelgas. La prueba de Tukey mostró diferencias significativas ( $P = 0.0262$ ) en Ul3, con un crecimiento promedio semanal de 1.66±0.30 cm (Figura 1). Asimismo, con Ul3 se cosecharon las acelgas de mayor altura (34.2±1.11 cm), aunque Gb no presentó significancias en el crecimiento total, con Gb6 se obtuvieron acelgas de 32±2.13 cm de alto y con un crecimiento semanal de 1.37±0.21 cm (Cuadro 4). La prueba de U de Mann-Whitney mostró diferencias en la biomasa seca de las acelgas con Ul ( $P = 1.68E-06$ ) de 9.71-10.16 g. Sin embargo, debido a falta de repeticiones no se encontraron diferencias significativas entre los grupos.

**Cuadro 2. Concentración de metales de las harinas de *Ulva lactuca* y *Gracilaria blodgettii*.**  
**Table 2. Heavy metal concentration of *Ulva lactuca* and *Gracilaria blodgettii* flours.**

Concentraciones de metales pesados	Gb	Ul
mg kg <sup>-1</sup>		
Cu	0.003±0.009	0.007±0.003
Cd	0.000±0.000	0.001±0.000
Cr	0.003±0.000	0.001±0.000
Ni	0.001±0.000	0.005±0.002
Pb	0.004±0.005	0.012±0.005
Zn	0.034±0.009	0.056±0.027

± DS. Gb = *Gracilaria blodgettii*, Ul = *Ulva lactuca*. Cu = cobre; Cd = cadmio; Cr = cromo; Ni = níquel; Pb = plomo; Zn = zinc.

± DS. Gb = *Gracilaria blodgettii*, Ul = *Ulva lactuca*. Cu = copper; Cd = cadmium; Cr = chromium; Ni = nickel; Pb = lead; Zn = zinc.

El análisis químico de las harinas de Ul y Gb permitieron valorar algunos parámetros que están asociados con la composición de nutrientes de estas especies, encontrando que las cenizas totales se encuentran directamente relacionadas con el contenido de sales inorgánicas y algunos macro y microelementos como: N, P, Na, K, Mg, Ca, Fe, Mo, Cu, Zn, Pb, Co, Ni, I, Sr y Cd, la presencia de estos minerales potencia aún más el valor nutricional de las algas, como lo mencionan Singh *et al.* (2014) y Soto-Jiménez *et al.* (2019). En el presente estudio, el análisis de metales pesados mostró que el elemento en mayor concentración para Ul fue el Zn y como lo mencionan Tuhý *et al.* (2015), el Zn es un micronutriente esencial para el crecimiento de las plantas, requerido para la síntesis

**Cuadro 3. Caracterización de las propiedades fisicoquímicas del suelo.**  
**Table 3. Characterization of the physicochemical property of the soil.**

Propiedad	T	U3	U6	U9	G3	G6	G9
	----- % -----						
Limo(%)	28±1.64	26±5.0	28±15	28±3	30±10	36±4	34±1
Arcilla(%)	34±14.18	28±13.5	32±2.5	30±11.50	44±3.8	28±16.18	32±11.5
Arena(%)	38±12.54	46±18.5	40±17.5	42±14.50	26±12.18	36±15.18	44±17.5
MO(%)	1.48±0.28	1.89±0.17	1.75±0.22	1.75±0.22	2.43±0.07	2.7±0.14	2.3±0.07
pH	9.01±	8.28±0.17	7.47±0.06	7.97±0.48	8.92±0.29	9.24±0.34	9.56±0.45
CIC (meq 100g <sup>-1</sup> )	47.28±0.20	48.72±0.10	48.24±0.98	37.2±0.08	36.4±0	36.8±0.82	36.4±0
N(%)	0.01±0.02	0.015±0	0.012±0	0.012±0.01	0.017±0	0.01±0	0.027±0.01
CE (ms cm <sup>-1</sup> )	0.57	0.86	0.84	0.89	0.52	0.53	0.8
Na (mg kg <sup>-1</sup> )	107	98	100	73	70	68	62
K (mg kg <sup>-1</sup> )	126	125	142	99	75	98	108
P (mg kg <sup>-1</sup> )	14.73	14.68	14.68	14.7	14.67	14.66	14.67
CRA(%)	85.2	90	84.2	89.2	86.6	92.8	89.6
HR(%)	5.51	4.3	4.5	4.7	4.6	4.5	5

T = testigo; Ul3 = *U. lactuca* 3%; Ul6 = *U. lactuca* 6%; Ul9 = *U. lactuca* 9%. Gb3 = *G. blodgettii* 3%; Gb6 = *G. blodgettii* 6%; Gb9 = *G. blodgettii* 9%. ± DS. MO = materia orgánica. CE = conductividad eléctrica. CIC = capacidad de intercambio catiónico. CRA = capacidad de retención de agua, HR = humedad relativa. Na = sodio y K = potasio; bajo = < 39, medio = 40-156, alto > 156. P = fósforo; pobre = < 5.0, medio = 6.0-15.0, rico = 16-30. %N = nitrógeno; pobre = 0.04-0.05, medio = 0.09-0.11, rico = 0.26-0.50. Valores de referencia según Muñoz-Iniestra, Soler, López y Hernández (2020).

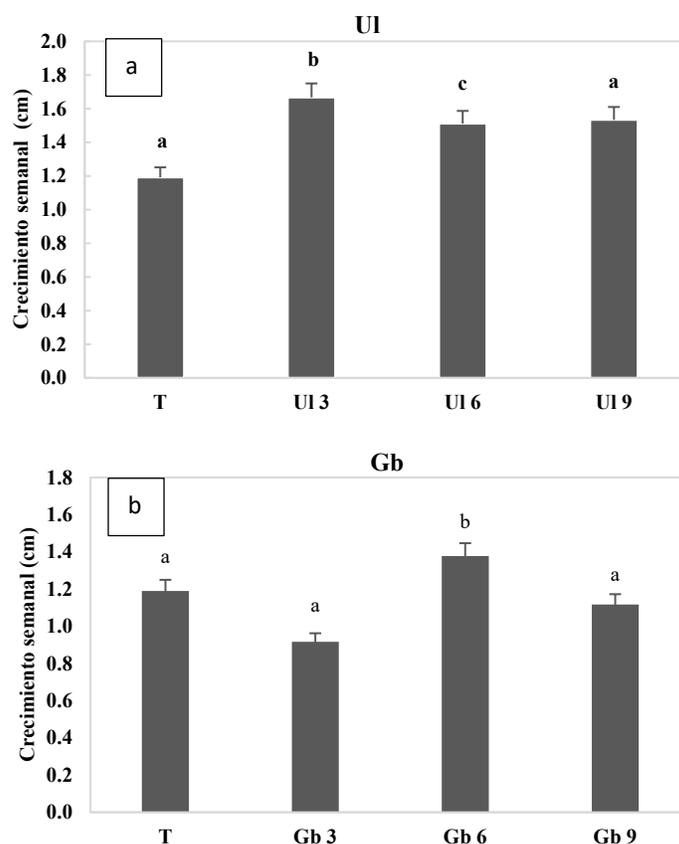
T = control; Ul3 = *U. lactuca* 3%; Ul6 = *U. lactuca* 6%; Ul9 = *U. lactuca* 9%; Gb3 = *G. blodgettii* 3%; Gb6 = *G. blodgettii* 6%; Gb9 = *G. blodgettii* 9%. ± SD. OM = organic matter. EC = electrical conductivity. CEC = cation exchange capacity. WHC = water holding capacity. RH = relative humidity. Na = sodium and K = potassium; low = < 39, medium = 40-156, high > 156. P = phosphorus; poor = < 5.0, medium = 6.0-15.0, rich = 16-30. %N = nitrogen; poor = 0.04-0.05, medium = 0.09-0.11, rich = 0.26-0.50. Reference values according to Muñoz-Iniestra, Soler, López, and Hernández (2020).

**Cuadro 4. Efecto de las harinas de *Ulva lactuca* y *Gracilaria blodgettii* en el crecimiento de *Beta vulgaris* var. *cycla*.**  
**Table 4. Effect of *Ulva lactuca* and *Gracilaria blodgettii* flours on the growth of *Beta vulgaris* var. *cycla*.**

Tratamiento	CS	CT	BF	BS
	----- cm -----		----- g -----	
T	1.19±0.015 a	27.5±1.12 a	30.3±4.9 a	7.42±0.72 b
UI3	1.66±0.30 b	34.2±1.11 a	53.8±13.7 a	9.71±0.30 ab
UI6	1.51±0.23 c	31.8±1.38 a	63.05±12 a	10.16±0.21 ab
UI9	1.53±0.40 a	34.5±0 a	89.7±0 a	9.43±0 ab
Gb3	0.91±0.17 ac	25±1.26 a	76.8±4.8 a	8.13±0.28 b
Gb6	1.37±0.21 b	32±2.13 a	67±4.5 a	4.49±0.21 b
Gb9	1.11±0.14 a	27.5±2.24 a	23.85±15.1 a	2.65±1.71 b

Las letras diferentes presentan diferencias significativas según Tukey y U de Mann-Whitney ( $\alpha = 0.05$ ). CS = crecimiento semanal; CT = crecimiento total; BF = biomasa fresca; BS = biomasa seca. T = testigo; UI3 = *U. lactuca* 3%; UI6 = *U. lactuca* 6%; UI9 = *U. lactuca* 9%. Gb3 = *G. blodgettii* 3%; Gb6 = *G. blodgettii* 6%; Gb9 = *G. blodgettii* 9%.

Different letters indicate significant differences according to Tukey and Mann-Whitney U tests ( $\alpha = 0.05$ ). CS = weekly growth, CT = total growth, BF = fresh biomass, BS = dry biomass. T = control; UI3 = *U. lactuca* 3%; UI6 = *U. lactuca* 6%; UI9 = *U. lactuca* 9%. Gb3 = *G. blodgettii* 3%; Gb6 = *G. blodgettii* 6%; Gb9 = *G. blodgettii* 9%.



**Figura 1. Efecto de las harinas de *Ulva lactuca* (a) y *Gracilaria blodgettii* (b) sobre el crecimiento semanal de las acelgas.** Las letras diferentes presentan diferencias significativas según Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Gb = *Gracilaria blodgettii*; UI = *Ulva lactuca*.

**Figure 1. Effect of *Ulva lactuca* (a) and *Gracilaria blodgettii* (b) flours on the weekly growth of chard.** Different letters indicate significant differences according to Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Gb = *Gracilaria blodgettii*; UI = *Ulva lactuca*.

de carbohidratos durante la fotosíntesis en la transformación de los azúcares y participa en el metabolismo de hormonas al regular el nivel de auxinas (Castillo-González *et al.*, 2018), lo cual también puede explicar que las acelgas obtenidas con los tratamientos de Ul fueran de mayor tamaño y con mayor biomasa en comparación con las acelgas de los tratamientos con Gb. Sin embargo, se requiere de futuros análisis para ambas harinas, que proporcionen más información acerca de su composición nutricional y su efecto como biofertilizante.

A pesar de que hubo mayor altura de las acelgas con los tratamientos de Ul, se observó poca asimilación de P y N con la adición de ambas harinas. Aunque las algas producen alta cantidad de compuestos que ayudan al crecimiento de las plantas, muchos de estos no pueden ser absorbidos debido a su alta disponibilidad (Zhou, Qiu, Zhang y Tao, 2019); en este sentido, es posible que el P y el N disponible en las algas, se presenten en un estado químico distinto a los compuestos inorgánicos, lo cual podría causar por un lado que las plantas lo absorban menos y que los microorganismos del suelo lo inmovilicen e impidan su biodegradación. Otra posible explicación está basada en la naturaleza de los suelos Vertisoles, los cuales fijan fosfatos disponibles a través de iones Ca, Al o Fe y los vuelven insolubles (Navarro, 2010; Beltrán-Pineda, 2014).

En cuanto a la mejora del pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, capacidad de retención de agua y potasio intercambiable, resaltan los resultados de Castellanos-Barriga *et al.* (2017); Pérez-Madruga *et al.* (2020) y Zhang, Chu, Zhang y Yan (2023), quienes atribuyen estas mejoras, al contenido de macroelementos, microelementos, metabolitos secundarios, así como a la presencia de fitohormonas y otros compuestos bioactivos presentes en las algas marinas, que promueven las interacciones planta-suelo de manera eficiente. Además de favorecer el crecimiento de las plantas y la mejora de la fertilidad en el suelo. Los resultados obtenidos colocan a *U. lactuca* como una alternativa para la mejora de suelos degradados por la alcalinidad y una posibilidad potencial en la agricultura orgánica.

## CONCLUSIONES

La adición de las harinas de *Ulva lactuca* y *Gracilaria blodgettii* representan una alternativa funcional como biofertilizantes, ya que ambas mostraron tener un efecto positivo sobre algunas propiedades fisicoquímicas de un suelo alcalino.

Los tratamientos que presentaron mejoras en la reducción del pH y el incremento de la MO en suelo fueron *U. lactuca* 6 y 9%, lo que produjo mayor altura y biomasa de las acelgas, respectivamente.

La continuidad de los estudios sobre *U. lactuca* representa una alternativa prometedora para mejorar la fertilidad de los suelos afectados por la alcalinidad. Por otro lado, *G. blodgettii* es una alternativa para suelos con bajo contenido de MO.

El análisis bromatológico y de metales pesados, permitieron visualizar de manera general el aporte nutricional de las harinas al suelo, sin embargo, se requiere analizar otros compuestos bioactivos en *U. lactuca* y *G. blodgettii*, que permitan comprender su acción biofertilizante y su relación con el suelo.

## DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

## CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

## DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los datos están disponibles a través del autor de correspondencia con previa solicitud.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

## FINANCIACIÓN

No aplicable.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, idea principal y metodología: L.E.M.C., M.M.M.A. y A.C.M.G. Trabajo de campo, escritura, análisis de datos y preparación del borrador original: M.M.M.A. Escritura: revisión y edición: F.A.N.

## AGRADECIMIENTOS

Al laboratorio de Edafología de la Unidad de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO) de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, por permitirnos realizar los análisis correspondientes que complementan el presente trabajo. Al Instituto Politécnico Nacional al laboratorio de Microbiología del suelo de la ENCB y a los proyectos SIP-20220254 y SIP-20230254, por facilitar el apoyo económico, las instalaciones y equipo necesario para el desarrollo de este estudio.

## LITERATURA CITADA

- Ali, O., Ramsubhag, A., & Jayaraman, J. (2021). Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. *Plants*, 10(3), 531. <https://doi.org/10.3390/plants10030531>
- Aroyehun, A. Q., Palaniveloo, K., Ghazali, F., Rizman-Idid, M., & A. Razak, S. (2019). Effects of seasonal variability on the physicochemical, biochemical, and nutritional composition of Western Peninsular Malaysia *Gracilaria manilaensis*. *Molecules*, 24(18), 3298. <https://doi.org/10.3390/molecules24183298>
- Bharath, B., Nirmalraj, S., Mahendrakumar, M., & Perinbam, K. (2018) Biofertilizing efficiency of *Sargassum polycystum* extract on growth and biochemical composition of *Vigna radiata* and *Vigna mungo*. *Asian Pacific Journal of Reproduction*, 7, 27-32.
- Battacharyya, D., Zamani, B. M., Rathor, P. & Prithiviral, B. (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Science Horticulture*, 196, 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.012>
- Beltrán-Pineda, M. E. (2014). La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 101-113.
- Carvalho, A. F. U., Portela, M. C. C., Sousa, M. B., Martins, F. S., Rocha, F. C., Farias, D. F., & Feitosa, J. P. A. (2009). Physiological and physico-chemical characterization of dietary fiber from the green seaweed *Ulva fasciata* Delile. *Brazilian Journal of Biology*, 69, 969-977.
- Castellanos-Barriga, L. G., Santacruz-Ruvalcaba, F., Hernández-Carmona, G., Ramírez-Briones, E., & Hernández-Herrera, R.M. (2017). Effect of seaweed extracts from *Ulva lactuca* on seedling growth of mung bean (*Vigna radiata*). *Journal of Applied Phycology*, 29, 2479-2488.
- Castellanos-González, M. E., León-Pérez, A., & Moreira-González, A. (2003). Caracterización química de la agarofita *Gracilaria blodgettii* Harvey en la Bahía de Cienfuegos, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*, 24(3), 185-192.
- Castillo-González, J., Ojeda-Barrios, D., Hernández-Rodríguez, A., González-Franco, A. C., Robles-Hernández, L., & López-Ochoa, G. R. (2018). Zinc metalloenzymes in plants. *Interciencia*, 43(4), 242-248.
- Chapman, V. J., & Chapman, D. J. (1980). *Seaweeds and their uses*. London, United Kingdom: Chapman and Hall.
- Contreras, G., Santos, J. J., Márquez, M. M., Guzmán, H. V., & Alfaro, F. R. (2018). Manual de prácticas, laboratorio de análisis químicos. Ciudad de México, México: UNAM.
- De la Cruz-Francisco, V., Orduña-Medrano, R. E., Paredes-Flores, J. E., Vázquez-Estrada, R. I., González-González, M., & Flores-Galicia, L. (2017). Una aproximación a la florística y faunística de la costa rocosa El Pulpo, Cazonos, Veracruz, México. *CICIMAR Océánides*, 32(1), 39-58
- De Sosa, L. L., Navarro-Fernández, C. M., Panettieri, M., Madejón, P., Pérez-de-Mora, A., & Madejón, E. (2023). Application of seaweed and pruning residue as organic fertilizer to increase soil fertility and vine productivity. *Soil Use Management*, 39, 794-804.
- Díaz, I. (2017). *Manual de laboratorio de bromatología*. Tuxpan, Veracruz: Universidad Veracruzana.
- El-Kassas, H. Y., Aly-Eldeen, M. A., & Gharib, S. M. (2016). Green synthesis of iron oxide (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) nanoparticles using two selected brown seaweeds: Characterization and application for lead bioremediation. *Acta Oceanológica*, 35, 89-98. <https://doi.org/10.1007/s13131-016-0880-3>
- Espinosa-Antón, A. A., Hernández-Herrera, R. M., & González-González, M. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas. *Biotecnología Vegetal*, 20(4), 257-282.
- Espinosa-Antón, A. A., Hernández-Herrera, R. M., & González, G. M. (2021). Potencial de las macroalgas marinas como bioestimulantes en la producción agrícola de Cuba. *Centro Agrícola*, 48(3), 81-92.
- García-López, D. Y., Mateo-Cid, L. E., & Mendoza-González, A. C. (2017). Nuevos registros y lista actualizada de las algas verdes (*Chlorophyta*) del litoral de Veracruz, México. *Gayana. Botánica*, 74(1), 41-56.
- González-Estrada, A., & Camacho, A. M. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero de la fertilización nitrogenada en México. *Remudvista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(8), 1733-1745.
- Hamadani, H., Mudasar, R. J. P., Khan, A. A., Dar, A. A., Gazal, A., Dar, R. A., & Ali, A. (2021). Traditional farming practices and its consequences. In G. H. Dar, R. A. Bhat, M. A. Mehmood, & K. R. Hakeem (Eds.). *Microbiota and Biofertilizers* (pp. 1-20). Cham, Switzerland: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_1)
- Hamed, S. M., & Messiha, N. A. (2018). Suppression of bacterial wilt disease by some marine macroalgal extracts isolated from Safaga coast of Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 96(4), 1275-1289. <https://doi.org/10.21608/ejar.2018.141434>
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontology*, 4(1), 1-9.
- Hernández-Herrera, R. M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Zañudo-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.
- Hernández-Herrera, R. M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Briceño-Domínguez, D. R., Filippo-Herrera, D., Andrea, D., & Hernández-Carmona, G. (2018). Seaweed as potential plant growth stimulants for agriculture in Mexico. *Hidrobiológica*, 28(1), 129-140.

- Hong, D. D., Hien, H. M., & Son, P. N. (2007). Seaweeds from Vietnam used for functional food, medicine and biofertilizer. *Journal of Applied Phycology*, 19, 817-826.
- Illera-Vives, M., López-Fabal, A., López-Mosquera, M. E., & Ribeiro, H. M. (2015). Mineralization dynamics in soil fertilized with seaweed-fish waste compost. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(15), 3047-3054.
- Kumar, P., Verma, K. A., Umaraw, P., Mehta, N., & Malav, P. O. (2020). Plant phenolics as natural preservatives in food system. In R. Lone, R. Shuab & A. N. Kamili (Eds.). *Plant phenolics in sustainable agriculture* Vol. 1. (pp. 367-395). Cham, Switzerland: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_1)
- Mamat, H. B., Wan Chen, Y., Abdul Hamid, M., Md Haque Akanda, J., Pusiran, A. K., & Zainol, M. K. (2021). Assessment of dough rheological characteristics and soft bread roll quality of wheat flour incorporated with seaweed powder. *British Food Journal*, 123(12), 3888-3901. <https://doi.org/10.1108/BFJ-08-2020-0676>
- Montero, M. J., Miramontes, P. M., Andrade, K. L., & Sio, J. E. (1999). Influencia de la adición de diversas especies de algas sobre algunas propiedades químicas de un suelo ácido y el crecimiento de *Hordeum vulgare* L. *Ciencia del Suelo*, 17, 28-38.
- Muñoz-Iniestra, D. J., Soler, A. A. F., López, G. F., & Hernández, M. M. M. (2020). Edafología. Manual de métodos de análisis de suelos. Ciudad de México: UNAM.
- Nabti, E., Jha, B., & Hartman, A. (2016). Impact of seaweeds on agricultural crop production as biofertilizer. *Agricultural and Food Sciences, Environmental Science*, 14, 1119-1134.
- Navarro, G., M. (2010). Nutrición y fertirrigación del tomate en suelos calcáreos. En: A. Benavides-Mendoza, V. Robledo-Robles, H. Ramírez, A. & Sandoval A. (Eds.). *Producción de tomate en el Norte de México* (pp. 85-99). Buenavista, Saltillo, Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Nissen, S. H., Juul, L., Bruhn, A., Søndergaard, J., & Dalsgaard, T. K. (2024). The biochemical composition and its relation to color of *Ulva* spp. upon harvest time. *Journal of Applied Phycology*, 36, 2095-2107.
- Pahaly, H. N., Rafiya, L., Rashid, S., Nisar, B., & Kamili, A. N. (2021). Chemical Fertilizers and their impact on soil health. In G. H. Dar, R. A. Bhat, M. A. Mehmood, & K. R. Hakeem (Eds.). *Microbiota and Biofertilizers* (pp. 1-20). Cham, Switzerland: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_1)
- Pérez-Madruga, Y., López-Padrón, I., & Reyes-Guerrero, Y. (2020). Las algas como alternativa natural para la producción de diferentes cultivos. *Cultivos Tropicales*, 41(2), 1-20.
- PerkinElmer (2023) *Syngistix AA Flame User's Booklet*. Springfield, IL, USA:PerkinElmer.
- Perpetuo, R. R., de Carvalho Junior, A. A., Facchinei, A. P., dos Santos Calheiros, A. C., & Castelar, B. (2018). Direct effects of ulvan and flour produced from the green alga *Ulva fasciata* Delile on the fungus *Stemphylium solani* Weber. *Algal Research*, 30, 23-27. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.12.007>
- Quiral, V., Sepúlveda, M., Gamero-Vega, G., & Jiménez, P. (2022). Seaweeds in bakery and farinaceous foods: A mini-review, *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 28, 100403. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100403>
- Raghunandan, B. L., Vyas, R. V., Patel, H. K., & Jhala, Y. K. (2019). Perspectives of seaweed as organic fertilizer in agriculture. In D. Panpatte, & Y. Jhala (Eds.). *Soil Fertility Management for Sustainable Development* (pp. 267-289). Singapore: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-5904-0\\_13](https://doi.org/10.1007/978-981-13-5904-0_13)
- Rahim, A. R., Utami, D. R., & Budi, S. (2023). Quality of agar *Gracilaria verrucosa* sea weed with different density in polyculture system. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, 10(3), 2145-2162.
- Sammi-Reddy, K., Wakchaure, G. C., Khapte, P. S., & Chagan, S. S. (2023). Plant bio-stimulants for mitigating abiotic stresses in agriculture. *International Journal of Fertilizers*, 19(8), 788-800.
- Shukla, P. S., Borza, T., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2016). Carrageenans from red seaweeds as promoters of growth and elicitors of defense response in plants. *Frontiers in Marine Science*, 3, 81. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00081>
- Singh, J. S., Kelloway, S., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2014). Seaweeds (Macroalgae) and their extracts as contributors of plant productivity and quality: The current status of our understanding. In N. Bourgougnon (Ed.). *Advances in Botanical Research* (pp. 189-219). Amsterdam, Netherlands: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408062-1.00007-X>.
- Soto-Jimenez, M. F., Ochoa-Izaguirre, M. J., & Bojorquez-Mascareño, E. I. (2019). Beneficios de los florecimientos macroalgales para la producción de biofertilizantes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(8), 1863-1874. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i8.915>
- Spinelli, F., Fiori, G., Noferini, M., Sprocatti, M., & Costa, G. (2010). A novel type of seaweed extract as a natural alternative to the use of iron chelates in strawberry production. *Scientia Horticulturae*, 125(3), 263-269. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.011>
- Tuhy, Ł., Samoraj, M., Basladyńska, S., & 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>
- Uribe-Orozco, M. E., Mateo-Cid, L. E., Mendoza-González, A. C., Amora-Lazcano, E. F., González-Mendoza, D., & Durán-Hernández, D. (2018). Efecto del alga marina *Sargassum vulgare* C. Agardh en suelo y el desarrollo de plantas de cilantro. *Idesia (Arica)*, 36(3), 69-76.
- Zamilpa, J., Schwentesius-Rindermann, R., & Ayala-Ortiz, D. A. (2016). Estado de la cuestión sobre las críticas a la agricultura orgánica. *Acta Universitaria*, 26(2), 20-29. <https://doi.org/10.15174/au.2016.854>
- Zhang, N., Chu, R., Zhang, N., & Yan, J. (2023). Seaweed fertilizer improved drought tolerance of tomato seedlings in sandy soil. *Journal of Plant Nutrition*, 46(16), 3869-3880. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2217213>
- Zhou, G., Qiu, X., Zhang, J., & Tao, C. (2019). Effects of seaweed fertilizer on enzyme activities, metabolic characteristics, and bacterial communities during maize straw composting. *Bioresource Technology*, 286, 121375. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121375>