

## Macroalgas sobre la eclosión de huevecillos de *Meloidogyne incognita* y como bioestimulante en albahaca

Seaweed on the egg hatching of *Meloidogyne incognita* and as a biostimulant in basil

Mirella Romero-Bastidas<sup>1\*</sup>,  
Maurilia Rojas-Contreras<sup>1</sup>,  
Pablo Misael Arce-  
Amézquita<sup>1</sup>,  
Carlos Rangel-Dávalos<sup>1</sup>,  
José Alfredo Guevara-  
Franco<sup>1</sup>,  
José Saúl Hernández-  
Rubio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Baja California Sur, Carretera al Sur KM 5.5, Colonia el Mezquitito, CP. 23080, La Paz, Baja California Sur, México.

\*Autor de correspondencia:  
miromero@uabcs.mx

### Artículo científico

Recibido: 30 de junio 2022

Aceptado: 01 de diciembre 2022

Como citar: Romero-Bastidas M, Rojas-Contreras M, Arce-Amézquita PM, Rangel-Dávalos C, Guevara-Franco JA, Hernández-Rubio JS (2022) Macroalgas sobre la eclosión de huevecillos de *Meloidogyne incognita* y como bioestimulante en albahaca. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 9(3): e3404. DOI: 10.19136/era.a9n3.3404

**RESUMEN.** Las macroalgas marinas son un método de control biológico que disminuyen el daño que provoca el nematodo agallador en los cultivos de importancia económica. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de cuatro macroalgas en el control de *Meloidogyne incognita* y su efecto bioestimulante en albahaca. Para ello, cuatro extractos derivados de *Ulva lactuca*, *Ulva clathrata*, *Gracilaria* spp. y *Sargassum* spp. fueron evaluados en tres dosis (1 000, 2 000 y 3 000 ppm) sobre la eclosión de huevecillos y su eficacia en la germinación, longitud de tallo y raíz de plántulas. Se realizó un análisis fitoquímico de las macroalgas que presentaron acción nematicida sobre los huevecillos. Los resultados mostraron que el extracto de *Sargassum* spp. y *U. lactuca* bajo las dosis evaluadas generaron el menor número de huevecillos eclosionados. Pero, ninguna macroalga incrementó el porcentaje de germinación, pero si la longitud de tallo. El análisis fitoquímico del extracto de *Sargassum* spp. registró el mayor contenido de alcaloides, fenoles, fitoesteroles, péptidos y saponinas. Se comprueba la eficacia de algunas macroalgas marinas sobre el control de *M. incognita* y su acción bioestimulante en la planta, lo cual es de gran interés para la agricultura orgánica y convencional.

**Palabras clave:** Crecimiento, manejo, nematodo agallador, algas marinas.

**ABSTRACT.** Marine macroalgae in the control of the root-knot nematode emerges as a biological alternative to reduce the damage they cause in economically important crops such as basil. The objective of this study was to evaluate the effect of four macroalgae on the control of *Meloidogyne incognita* and on the growth of basil. For this, four extracts derived from *Ulva lactuca*, *Ulva clathrata*, *Gracilaria* spp. and *Sargassum* spp. were evaluated at three doses (1 000, 2 000 and 3 000 ppm) on the hatching of eggs and their effectiveness in germination, stem length and root of seedlings. In addition, a phytochemical analysis of the macroalgae that presented nematicidal action on the eggs was carried out. The results showed that the extract of *Sargassum* spp. and *U. lactuca* under the three doses evaluated generated the lowest number of hatched eggs. However, none macroalgae increased the germination percentage but the stem length did. In the phytochemical analysis, the extract of *Sargassum* spp. recorded the highest content of alkaloids, phenols, phytosterols, peptides and saponins. This research proves the efficacy of some marine macroalgae on the control of *M. incognita* and its biostimulant action on the plant, which is of great interest for organic and conventional agriculture.

**Key words:** Growth, management, root-knot nematode, seaweed.

## INTRODUCCIÓN

Las algas marinas se caracterizan por ser una rica fuente de biodiversidad ecológica y se consideran un recurso de nuevos compuestos activos (Negreanu-Pirjol *et al.* 2022). Contienen diversos metabolitos como alcaloides, policétidos, péptidos cíclicos, polisacáridos, florotaninos, diterpenoides, esteroides, quinonas, lípidos y glicérolidos, los cuales tienen actividad pesticida (Hamed *et al.* 2018). Estas características describen el importante potencial que poseen las macroalgas para la obtención de productos comerciales como biocombustibles, fertilizantes, medicamentos de importancia farmacéutica, cosméticos y otros (Thirumaran *et al.* 2009, Gomez-Zavaglia *et al.* 2019). Diversos estudios han reportado que algunos antibióticos de algas, como bromofenoles, taninos, floroglucinol y terpenoides, tienen acción antinematodal (Mareggiani *et al.* 1998). Además, se ha encontrado que las betainas suprimen la fecundidad de los nematodos (Ghareeb *et al.* 2019). Dentro de la agricultura, el uso de éstos fitoquímicos naturales en la protección de cultivos ofrece un atractivo potencial como agentes nematocidas (Chitwood 2002). Actualmente, su uso se ha estudiado como alternativa a los nematocidas sintéticos, actuando como agente de control biológico contra el nematodo agallador (*Meloidogyne* spp.), uno de los patógenos más severos en los cultivos agrícolas a nivel mundial (Archidona-Yuste *et al.* 2018).

En México, Baja California Sur, es el principal estado productor de albahaca con rendimiento de 8.5 t ha<sup>-1</sup> (SIACON 2019). Este cultivo es altamente demandado por la industria cosmética, medicinal y culinaria (Taba *et al.* 2009). Pero su producción se ve reducida debido al daño causado por el nematodo agallador, al provocar hasta el 85% de daños en la producción agrícola, con pérdidas anuales de hasta 125 mil millones de dólares (Tileubayeva *et al.* 2021, Bui *et al.* 2022). Los síntomas incluyen agallas en raíces, por lo que las plantas pueden morir en caso de infestación severa (Sikora y Fernández 2005). El ciclo biológico, comienza a partir del huevo, que presentan alta resistencia a los nematocidas utilizados. Ya que éstos, se encuentran libres en el suelo o em-

bebidos en una matriz gelatinosa, adherida a la raíz, cuando el nematodo emerge del huevo en estado juvenil, este es más agresivo y voraz, induciendo la formación de células gigantes llamadas agallas (Johnson 1986). Las alternativas de control comúnmente son los químicos, pero causan impacto negativo en el ambiente. Por consiguiente, el estudio de alternativas naturales efectivas y sustentables de bajo daño a los organismos benéficos y la nula emisión de residuos tóxicos, como las macroalgas, sería de gran interés para el sector agrícola. Actualmente, en el estado de Baja California Sur (BCS), existen diferentes zonas costeras ricas en diversas algas marinas, las cuales pueden ser un recurso importante para el uso no solo en el control de *Meloidogyne* spp., sino también en la estimulación del crecimiento vegetativo de cultivos agrícolas. Por lo anterior el objetivo del presente estudio es evaluar el efecto de cuatro macroalgas marinas en el control del nematodo agallador (*Meloidogyne incognita*) y su efecto bioestimulante en el crecimiento en albahaca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Cuatro especies de algas marinas; *Sargassum* spp., *Gracilaria* spp., *Ulva clathrata* y *Ulva lactuca*, fueron colectadas en la playa del municipio de La Paz, Baja California Sur (BCS), México (24° 08' 32" LN 110° 18' 39" LO) durante el periodo de 2021-2022.

### Preparación de los extractos de las macroalgas

Se colectaron 10 kg de cada a orillas de playa y dentro del mar (1 m de profundidad) y se transportaron al laboratorio donde se sometieron a un triple lavado con agua de grifo para eliminar los residuos de sales e impurezas. Las macroalgas se extendieron en mesas metálicas con exposición directa al sol por tres días hasta presentar un secado homogéneo. El alga seca se trituró con un molino eléctrico (Modelo 4-E, Marca Straub) hasta obtener un polvo fino. Matraces Erlenmeyer con volumen de 500 mL se llenaron con macroalga fina y se agregó etanol al 96°, sin desnaturalizar hasta cubrir el material de la macroalga. Para luego sellarlos y llevar-

los a agitación en un agitador rotatorio a 150 rpm (Brinkmann Rockermix 1030) por siete días. Posteriormente, el extracto se separó del alga utilizando papel filtro Whatman No.1 (Whatman International, Maidstone, England) y se evaporó en un rotavapor (Buchi B-480 Waterbath) a 40 °C por cuatro días. Enseguida, el residuo seco se disolvió en etanol para obtener una muestra madre y conservar a 4 °C.

#### **Extracción de huevecillos de *M. incognita***

El inóculo *M. incognita* se obtuvo de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* L. cv. Saladette) con agallamiento radicular. Las raíces con agallas se lavaron con agua corriente por tres veces para eliminar partículas de suelo adheridas. Para luego coleccionar 50 masas de huevecillos con una aguja fina estéril bajo microscopio estereoscópico (LABOMED LX 400) y depositarlas sobre tubos eppendorf estériles, que contenían 1 mL de agua destilada estéril.

#### **Actividad nematocida del extracto de las macroalgas en la eclosión de huevecillos**

Un bioensayo *in vitro* se llevó a cabo para evaluar la actividad nematocida del extracto de las cuatro macroalgas *U. lactuca*, *U. clathrata*, *Gracilaria* spp. y *Sargassum* spp. bajo tres dosis (1 000, 2 000 y 3 000 ppm). En tubos eppendorf que contenían 1 mL de agua destilada estéril y 50 masas de huevecillos, para agregar 1 mL de la solución concentrada de las macroalgas, en cada dosis correspondiente, mientras que Tubos eppendorf con 2 mL de agua destilada estéril que contenían huevos sirvieron como control. El nematocida sintético (Rugby, 1 mL L<sup>-1</sup>) se usó como control positivo. Los tratamientos, se incubaron a temperatura ambiente (28 ± 2 °C) durante 48 h. Después del periodo de incubación, se contabilizó el número de juveniles eclosionados bajo un microscopio de luz (LABOMED LX 400). Seis tratamientos con tres replicas para cada concentración fueron aplicados en este experimento.

#### **Efecto del extracto de macroalgas sobre la germinación, longitud de tallo y raíz**

Para evaluar la eficacia del extracto de las macroalgas como bioestimulante en el crecimiento

de albahaca, 20 semillas de albahaca fueron depositadas por 24 h en 1 mL de solución a base de cada uno de los extractos y sus dosis correspondientes. Un tratamiento control positivo con fertilizante sintético T17 (1 g L<sup>-1</sup>) fue agregado, así como el tratamiento control con solo agua. Las semillas tratadas y no tratadas (control) se colocaron en cajas Petri estériles, sobre papel filtro Whatman No. 4 previamente húmedo. Posteriormente se incubaron en una cámara de crecimiento convencional a temperatura de 28 °C, humedad constante (80%) y fotoperiodo de 12 h luz/oscuridad por 15 días. Todos los días se contabilizó el porcentaje de germinación y al cabo de este tiempo, se midió la longitud de tallo y raíz de las plántulas en las cajas Petri. El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar, donde cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones y cada repetición fue una caja Petri con 20 semillas.

#### **Análisis fitoquímicos de las macroalgas**

Mediante la metodología propuesta por Eg-buna et al. (2018), se realizó un análisis fitoquímico de las macroalgas *Sargassum* spp. y *U. lactuca* que fueron altamente tóxicos sobre los huevecillos de *M. incognita* en la prueba *in vitro* para determinar las diferentes familias con posible acción nematocida. Una muestra de alga seca y molida se separó en dos porciones de 50 g. Una porción de 50 g se maceró en 250 mL de etanol por cuatro días, seguido de tres ciclos de 15 minutos en ultrasonido. La mezcla se filtró y el filtrado se concentró bajo presión reducida para obtener los extractos crudos como una pasta viscosa. Para los extractos acuosos, otra porción de 50 g de alga seca molida se mezcló con 400 mL de agua destilada y se sometió a ultrasonificación por 60 min. La mezcla se filtró y el filtrado fue concentrado por liofilización.

#### **Prueba de constituyentes químicos**

Aproximadamente 1 mL de una solución de extracto crudo a concentración de 10 mg mL<sup>-1</sup> en etanol se utilizó como base para la determinación de los constituyentes químicos a evaluar. En el caso de Alcaloides a la concentración antes señalada se le agregó 1 mL de reactivo de Dragendorff y la prueba

fue positiva si muestra turbidez, o un precipitado naranja. Para la determinación de fenoles se agregaron 2-3 gotas de  $\text{FeCl}_3$  al 5% y la prueba fue positiva al presentar una coloración café, rojo, verde o azul oscuro. A la prueba de péptidos/proteínas se agregaron 2-3 gotas de  $\text{CuSO}_4$  al 2% seguido por 2-3 gotas de  $\text{NaOH}$  al 10% y la respuesta fue positiva si presenta una coloración rosa-violeta. Mientras que la determinación de fitoesteroides, se realizó en 1.5 mL de una solución de extracto crudo a concentración de  $10 \text{ mg mL}^{-1}$  en anhídrido acético y se agregaron 2-3 gotas de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado por las paredes del tubo de ensayo. La prueba es positiva al presentar una coloración verde esmeralda. Para el caso de las saponinas, a un volumen de una solución de extracto crudo a concentración de  $10 \text{ mg mL}^{-1}$  en etanol se agregaron 9 volúmenes de agua destilada. La mezcla se agitó vigorosamente y se dejó reposar por 5 minutos. Para obtener una prueba positiva se debe presentar una persistencia de espuma.

### Análisis estadístico

Los datos obtenidos en cada uno de los experimentos, fueron analizados mediante un análisis de varianza y comparación múltiple de medias (Tukey), con nivel de significancia de 5% ( $P \leq 0.05$ ) con el paquete de diseños experimentales GraphPad Prism v.7.

## RESULTADOS

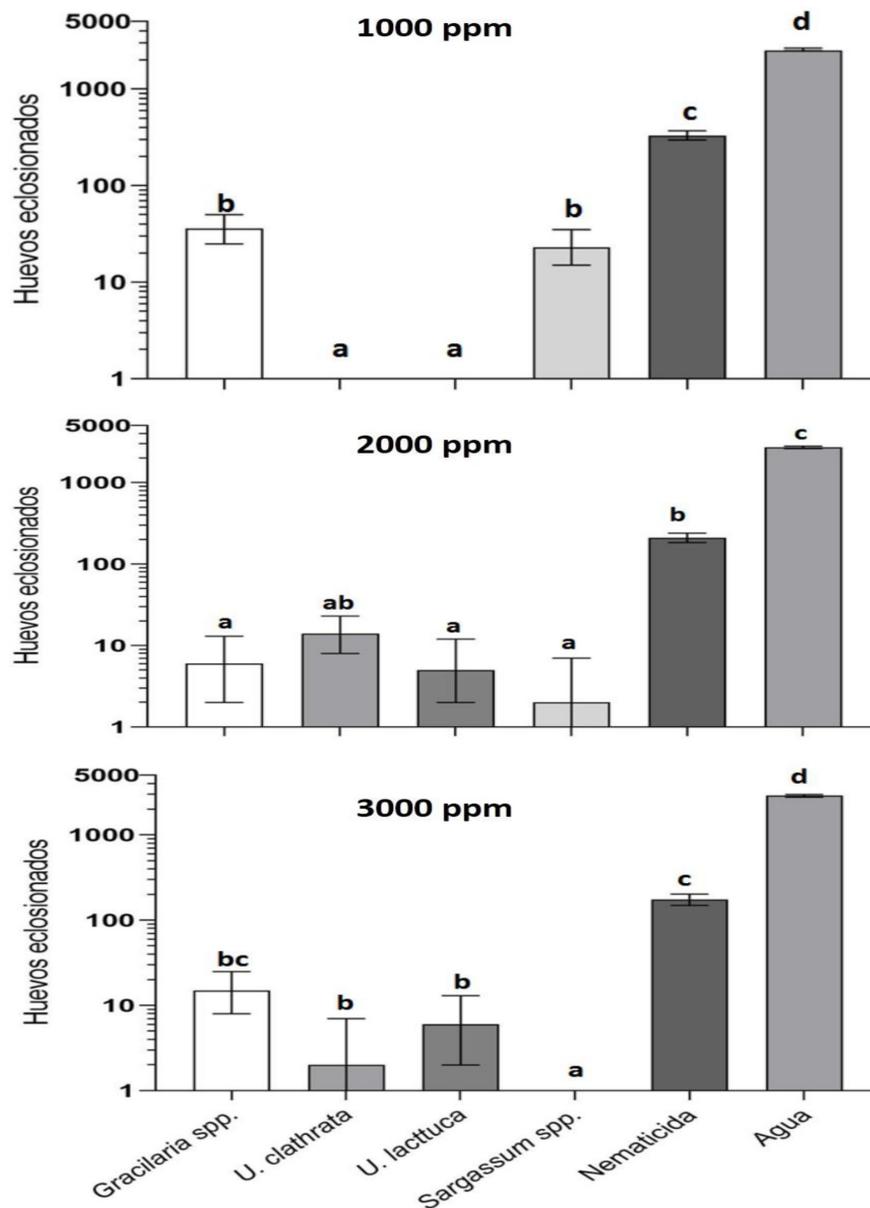
En relación al efecto de los cuatro tipos de macroalgas evaluadas sobre la eclosión de huevecillos de *Meloidogyne* spp. específicamente en la dosis de 1 000 ppm, se observó que las macroalgas mostraron diferencias significativas entre ellas y los tratamientos control (Figura 1 y 2). Donde el tratamiento de *U. clathrata* y *U. lactuca* tuvieron el mayor efecto de inhibición en la eclosión de huevecillos al presentar cero juveniles de nematodos, lo cual mostró diferencias significativas con respecto a los tratamientos de *Sargassum* spp. y *Gracilaria* spp. que siguieron en orden de menor eclosión de nematodos con 50 y 75 juveniles  $\text{mL}^{-1}$  de la solución con respecto al tratamiento nematicida y agua, donde el

nematicida presentó 150 nematodos, mientras que el tratamiento control agua mostró una eclosión de 1 400 juveniles  $\text{mL}^{-1}$  de solución.

La dosis de 2 000 ppm de las macroalgas generó una respuesta diferencial en los resultados sobre la eclosión de los huevecillos de *M. incognita* (Figura 1). Los resultados mostraron que bajo esta dosis las cuatro macroalgas generaron la menor eclosión de huevecillos, y no presentaron diferencias significativas entre ellas, pero si con respecto al tratamiento del nematicida comercial y el control con agua. Se observó que, dentro de las macroalgas, en el tratamiento *Sargassum* spp., tuvo el menor número de juveniles eclosionados al presentarse dos nematodos  $\text{mL}^{-1}$ , seguido de la macroalga *U. lactuca*, *Gracilaria* spp. y *U. clathrata* con 6, 8 y 13 nematodos  $\text{mL}^{-1}$  de la solución con extractos. Mientras que el tratamiento nematicida químico registró 150 juveniles  $\text{mL}^{-1}$ , mostrando diferencias significativas con las cuatro macroalgas y el tratamiento control con agua, donde se presentaron 1 400 juveniles  $\text{mL}^{-1}$ . Con esta dosis se pudo observar que el número de huevecillos eclosionados disminuyó en los cuatro tratamientos a base de las macroalgas, siendo el extracto a base de *Sargassum* spp. el que provocó la mayor acción de inhibición a diferencia de la respuesta en la dosis de 1000 ppm.

En la dosis de 3 000 ppm, el efecto nematicida fue mayor en el tratamiento del extracto de la macroalga *Sargassum* spp. teniendo una respuesta mayormente efectiva con respecto a las dosis de 1 000 y 2 000 ppm (Figura 1). Este tratamiento tuvo cero nematodos juveniles en la muestra evaluada. En orden de eficacia en la eclosión le siguieron los tratamientos de *U. clathrata* y *U. lactuca* al registrar 2 y 6 juveniles en las muestras, respectivamente. Seguido por el extracto de *Gracilaria* spp. al presentar 12 nematodos en la solución. Todas las macroalgas mostraron diferencias significativas con respecto al tratamiento químico y el control agua.

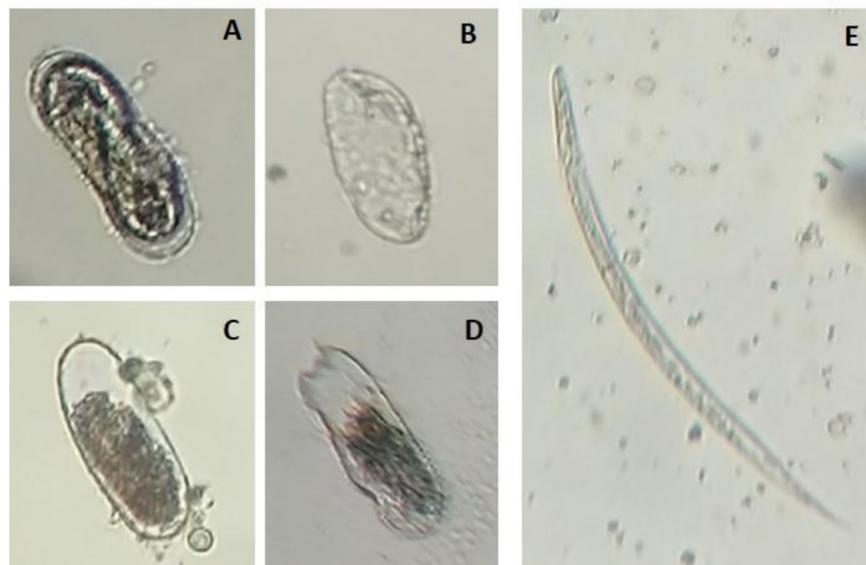
Para porcentaje de germinación, se observó que el análisis no mostró diferencias significativas entre los tratamientos y sus controles en las respectivas dosis de 1 000, 2 000 y 3 000 ppm evaluadas (Figura 3 y 4). Pero los resultados mostraron que,



**Figura 1.** Efecto de las dosis 1000, 2000 y 3000 ppm de las macroalgas sobre la eclosión de huevecillos.

bajo las tres dosis, las macroalgas destacaron más con respecto al tratamiento fertilizante y control agua, no así con el tratamiento nematicida, en el cual se observó un efecto de estimulación mayor que el resto de los tratamientos. Dentro de las macroalgas, el género *Gracilaria* spp. fue constante al presentar hasta 9% más germinación que los otros extractos, seguido de

*Sargassum* spp. El tratamiento nematicida también presentó un porcentaje de germinación alto (70%), mientras que el fertilizante (58%) y el control agua (56%) mostraron una menor germinación. En la dosis de 1 000 ppm, la macroalga *Gracilaria* spp. presentó un porcentaje mayor (68%) de germinación, seguido de *Sargassum* spp. y *U. lactuca* (62%). Mientras que



**Figura 2.** Efecto de macroalgas sobre la eclosión de huevecillos. A) Juvenil en huevecillo sin eclosionar, B) Huevecillo eclosionado, C) Huevecillo en etapa de mitosis D) Huevecillo con daño celular en su formación y E) Juvenil eclosionado.

en *U. clathrata* el porcentaje de germinación fue reducido (57%). Para el caso de la respuesta de la semilla en la dosis de 2 000 ppm, *U. clathrata* tuvo la mayor germinación (80%), seguido de *Gracilaria* spp. (75%). Mientras que *Sargassum* spp. y *U. lactuca* registraron el menor valor (73 y 55%, respectivamente). En la dosis de 3 000 ppm, los datos fueron muy similares al registrar mayor valor *Clathrata* spp. (68%), seguido de *Sargassum* spp. (66%), mientras que *Gracilaria* spp. (65%) y *U. lactuca* (64%) presentaron valores menores valores de germinación.

Para la relación de longitud de tallo y raíz, los resultados oscilaron entre 1.68 y 2.59 cm, mientras que para la raíz estuvieron entre 1.28 y 1.92 cm (Tabla 1). En la dosis de 1 000 ppm, en el caso de la longitud de tallo, el extracto de *U. lactuca* mostró diferencias significativas con el tratamiento correspondiente a *Gracilaria* spp., donde *U. lactuca* registró un valor mayor en longitud, mientras que *Gracilaria* spp. tuvo la menor. Pero para *U. lactuca* fue igual estadísticamente con el resto de los tratamientos, donde en orden de mayor valor fue para *Sargassum* spp., seguido por el control agua, presentando los menores valores, el tratamiento nematicida, *U. clathrata* y fertilizante. En dosis de 2 000 y 3 000 ppm, los tratamientos

no presentaron diferencias significativas entre éstos. Aunque los extractos mostraron respuesta similar entre ellos, el efecto de las dosis presentó diferencia en el crecimiento de tallos tratados con los extractos a base de *Gracilaria* spp. y *U. clathrata* al registrar un mayor valor respecto a la dosis de 1 000 ppm. Pero no se observó el mismo efecto en *U. lactuca* y *Sargassum* spp.

No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, al presentar valores similares de la variable evaluada (Tabla 1). En el tratamiento de la dosis de 1 000 ppm *U. lactuca* registro la mayor longitud de raíz, seguido del tratamiento *Gracilaria* spp. siguiendo en orden de importancia el tratamiento control con agua y el fertilizante. Mientras que los menores valores se registraron en el extracto de nematicida, *U. clathrata* y *Sargassum* spp. Para la dosis de 2000 ppm, el mayor valor se registró en el extracto de *Gracilaria* spp., seguido de *U. lactuca*. Mientras que los menores valores de longitud radicular se mostraron en el tratamiento de control con agua, *U. clathrata*, fertilizante, *Sargassum* spp. y nematicida. Respecto con la dosis de 3 000 ppm, el control agua registró el mayor valor, mientras que el tratamiento correspondiente a *U. clathrata* le siguió en orden de

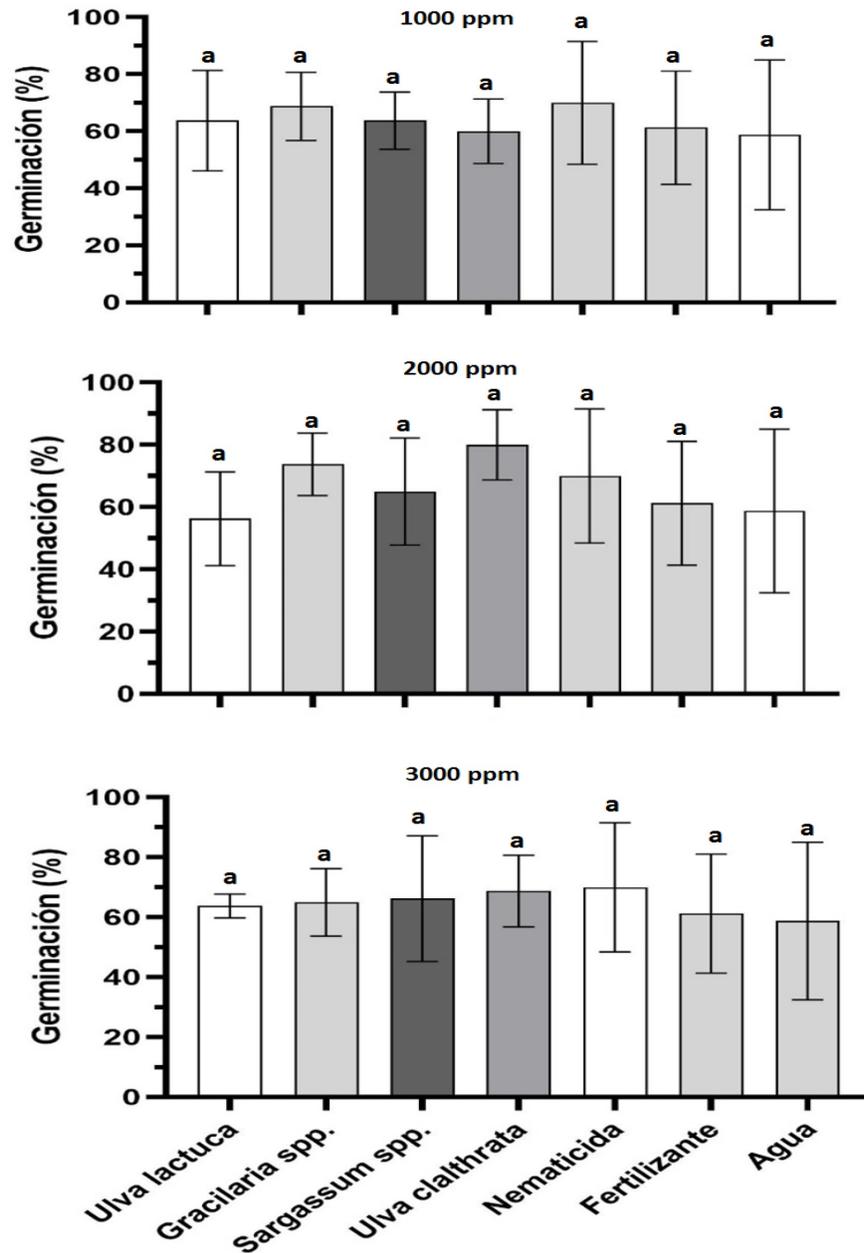
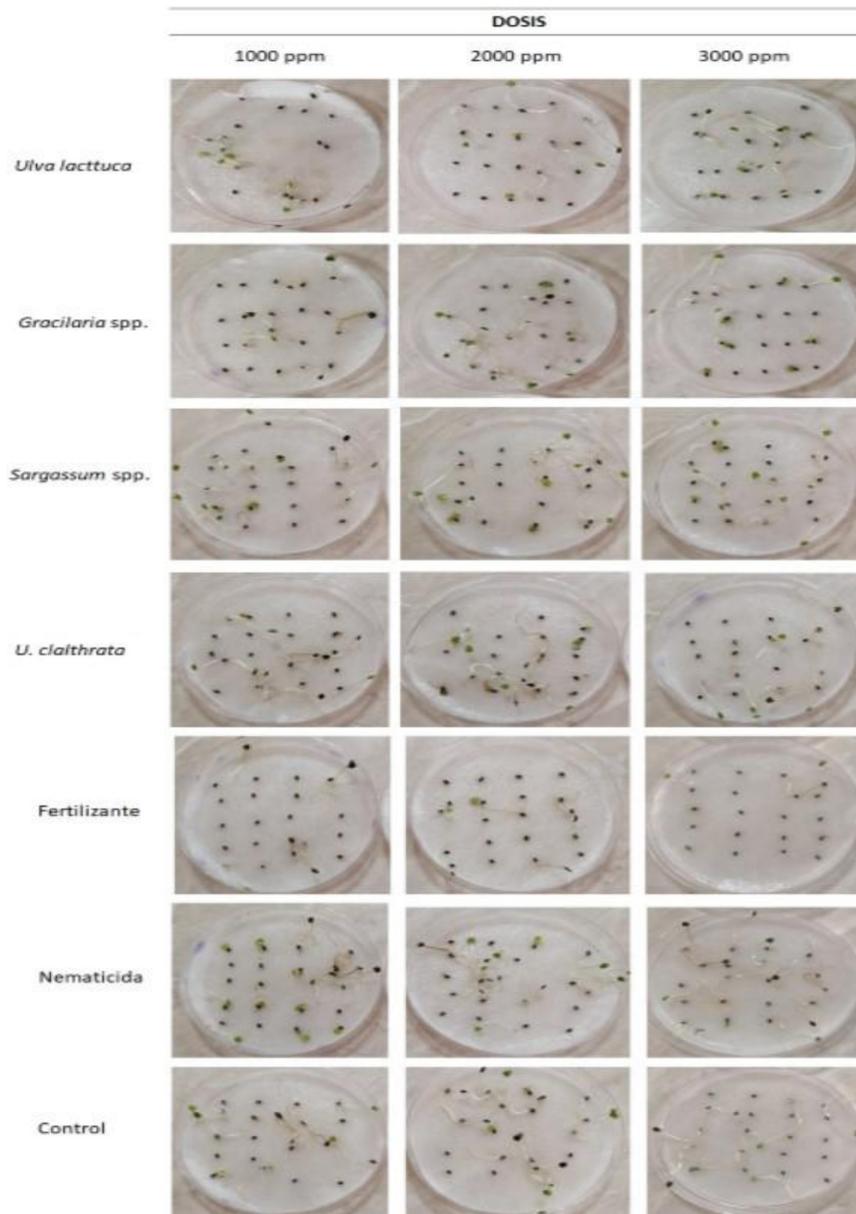


Figura 3. Efecto del extracto de macroalgas en el porcentaje de germinación.

mayor longitud de raíz. El tratamiento a base de fertilizante le siguió en orden de importancia y los menores valores los presentaron el extracto de *Sargassum* spp., *U. lactuca* y *Gracilaria* spp.

En relación con las pruebas cualitativas realizadas para detectar las diferentes sustancias

fitoquímicas, se observó que mostraban similitud en la presencia de algunos compuestos (Tabla 2). Como el grupo de sustancias asociadas a alcaloides, donde *Ulva lactuca*, *Ulva clathrata*, *Sargassum* spp. y *Gracilaria* spp tuvieron respuesta positiva, pero en mayor proporción las macroalgas *Sargassum* spp. y



**Figura 4.** Efecto del extracto de macroalgas en el porcentaje de germinación de albahaca.

*Gracilaria* spp. Para los Fenoles totales la mayoría de las macroalgas presentaron este tipo de sustancia, excepto la macroalga *U. clathrata* que mostró una respuesta negativa en la prueba cualitativa. Para los péptidos y/o proteínas, ninguna de las macroalgas mostró presencia de este tipo de componente en los extractos. Mientras que en los fitoesteroles

la respuesta positiva de la presencia de esta sustancia fue expresada en *U. lactuca*, *Gracilaria* spp. Mientras que en el caso de *Sargassum* spp., los fitoesteroles se observaron con una mayor proporción; mientras que *U. clathrata* tuvo respuesta negativa. Para las Saponinas, *U. lactuca* y *U. clathrata* presentaron respuesta negativa, a diferencia de *Sargassum*

**Tabla 1.** Datos referentes al efecto del extracto de las macroalgas sobre la longitud de Tallo y Raíz en albahaca.

Tratamientos	Tallo (ppm)			Raíz (ppm)		
	1000	2000	3000	1000	2000	3000
<i>Gracilaria</i> spp.	1.68 ± 0.24b	2.09 ± 0.34a	2.38 ± 0.13a	1.74 ± 0.67a	1.83 ± 0.50a	1.28 ± 0.33a
<i>Ulva clathrata</i>	1.95 ± 0.30ab	2.15 ± 0.11a	2.32 ± 0.26a	1.3 ± 0.15a	1.61 ± 0.26a	1.68 ± 0.22a
<i>Ulva lactuca</i>	2.59 ± 0.23a	2.21 ± 0.25a	2.23 ± 0.23a	1.92 ± 0.55a	1.71 ± 0.30a	1.31 ± 0.22a
<i>Sargassum</i> spp.	2.40 ± 0.44ab	1.94 ± 0.33a	2.08 ± 0.20a	1.28 ± 0.16a	1.46 ± 0.34a	1.38 ± 0.22a
Nematicida	1.99 ± 0.18ab	1.99 ± 0.18a	1.99 ± 0.18a	1.45 ± 0.38a	1.45 ± 0.38a	1.45 ± 0.38a
Fertilizantes	1.79 ± 0.41b	1.79 ± 0.41a	1.79 ± 0.41a	1.48 ± 0.38a	1.48 ± 0.38a	1.48 ± 0.38a
Agua	2.24 ± 0.37ab	2.24 ± 0.37a	2.24 ± 0.37a	1.69 ± 0.37a	1.69 ± 0.37a	1.69 ± 0.37a

Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Tabla 2.** Datos de pruebas cualitativas de las cuatro macroalgas

Fitoquímicos	Macroalgas Marinas			
	<i>U. lactuca</i>	<i>U. clathrata</i>	<i>Sargassum</i>	<i>Gracilaria</i>
Alcaloides	+	+	++	++
Fenoles	+	-	+	+
Péptidos/proteínas	-	-	-	-
Fitoesteroles	+	-	+++	+
Saponinas	-	-	++	+++

Positivo (+) = Presencia de fitoquímico. Negativo (-) = Ausencia de fitoquímico.  
 + = Proporción baja, ++ = Proporción media y +++ = Proporción alta.

spp. y *Gracilaria* spp. que tuvieron respuesta positiva, y la última mostró una proporción incrementada.

## DISCUSIÓN

Las macroalgas principalmente de las especies de *Ulva lactuca* y *U. clathrata* tienen desde concentraciones bajas, compuestos metabólicos con acción antimicrobiana, la cual pudo estar asociado con la inhibición de la eclosión de los huevecillos de nematodos. Al respecto, Ali et al. (2019), señalan que algunos extractos de macroalgas pueden tener actividad contra la fecundidad. Así mismo, diversos estudios sugieren que las macroalgas pueden ser utilizadas para proteger a las plantas del estrés biótico debido a que poseen compuestos asociados a fucoidanos y alginatos, los cuales actúan como elicitores para activar la defensa de las plantas. También, Williams et al. (2021), mencionan que los extractos de macroalgas se han usado por décadas en la agricultura como bioestimulantes, y que también pueden ser utilizados para reducir la ocurrencia del daño ocasionado por el *Meloidogyne* spp; indicando que los extractos de macroalgas reducen la abundancia del nematodo agallador y que los factores que afectan su eficacia son las especies de macroalgas y el cultivo. Además, los resultados obtenidos coinciden con

los reportados por Ghareeb et al. (2019), quienes también evaluaron especies de macroalgas dentro de las que destaca el género *Ulva*, donde analizaron *in vitro* el efecto nematicida del extracto de *Ulva fasciata Delile*, *Corallina mediterranea* y *Corallina officinalis* sobre la eclosión de huevecillos y la mortalidad del segundo estado juvenil de *Meloidogyne incognita* encontrando que las concentraciones aplicadas inhibieron la eclosión de los huevecillos y que el extracto del alga *Ulva fasciata Delile* mostró la mayor actividad en decremento de la eclosión de huevecillos con 87% de inhibición.

Para la dosis de 2000 ppm se observó que el número de huevecillos eclosionados disminuyó en los cuatro tratamientos con macroalgas, siendo el extracto de *Sargassum* spp. el que provocó la mayor acción de inhibición en el número de juveniles eclosionados a diferencia de la respuesta en la dosis de 1 000 ppm. Esto podría estar relacionado a la acción de los componentes químicos de *Sargassum* spp. sean eficientes a dosis incrementadas, debido a la potencialización de sus reacciones sobre la estructura de los huevecillos de *Meloidogyne* spp. Estos resultados coinciden con los reportados por Khan et al. (2018), quienes evaluaron *in vitro* la actividad nematicida de 32 macroalgas sobre la eclosión de *Meloidogyne javanica* y la mortalidad larval y obtuvieron que *Sar-*

*gassum tenerrimum* se encontraba dentro de las especies de algas que presentaron mayor inhibición en la eclosión de huevecillos al registrar un 96% en agua y extracto de metanol al 10% después de 72 h de exposición. La respuesta de los extractos en la dosis de 3 000 ppm, evidenció en algunos de los casos que su actividad se incrementaba. En el caso de *Sargassum* spp. y *U. lactuca*, al incrementar la dosis del extracto se tuvo la mayor inhibición en la eclosión de huevecillos, lo cual se considera respuesta positiva y en relación a ello. Al respecto, Pasqua y Melillo (2021) reportan que *U. lactuca*, *Sargassum muticum*, *Sargassum tenerrimum*, *Sargassum swartzii*, *Sargassum vulgare* y *Sargassum wigbtii* tienen actividad contra *Meloidogyne javanica* e incognita.

Los resultados muestran que las macroalgas no presentaron una respuesta positiva para la germinación, al verse ésta disminuida o retrasada en la mayoría de los extractos. Caso contrario a lo que señala Santaniello et al. (2017) quienes reportan que los extractos de macroalgas en las plantas mejoran el desarrollo del cultivo y la producción, además de estimular la germinación y aumentar la resistencia a factores bióticos y abióticos. Los resultados, obtenidos, muestran y confirman el efecto que poseen algunas macroalgas como *U. lactuca* en la estimulación del crecimiento de las plantas, lo cual coincide con la definición reportada por du Jardi (2015), quien menciona que el extracto de macroalgas es considerado como un estimulante orgánico y natural para el crecimiento vegetal. Debido a que el extracto de macroalgas consiste en una mezcla de sustancias activas biológicamente que actúan sobre el proceso del metabolismo celular de las plantas tratadas que consecuentemente conducen a efectos benéficos en las mismas (Yusuf et al. 2012).

Diversos estudios señalan que, entre las macroalgas marinas, los extractos de las macroalgas cafés han generado gran interés e importancia y se han usado en la agricultura moderna, sustentable y orgánica como un estimulante en el crecimiento de las plantas o como biofertilizante (Craigie, 2011). Esto puede ser atribuido a la presencia de una gran cantidad de fitohormonas naturales, así como un mayor contenido de micro y macronutrientes a

diferencia de otro tipo de macroalgas (Hernández-Herrera et al. 2014). Los resultados obtenidos en este estudio, coinciden con lo reportado por Mahmoud et al. (2019), quien evaluó el extracto de *Sargassum vulgare* para incrementar el crecimiento, la producción y la calidad nutricional de plantas de rábano, donde obtuvieron resultados positivos al registrar que las semillas incubadas en el extracto mostraron los mayores valores significativos en todos los caracteres medidos.

Las pruebas cualitativas demostraron que las cuatro macroalgas poseen componentes químicos diversos a distintas proporciones. Al respecto, otros estudios han confirmado que los organismos marinos producen miles de productos químicos, y cada año se siguen descubriendo cientos de nuevos compuestos (Romano et al. 2017). Al respecto, Stirk et al. (2014) señala que los extractos de las macroalgas poseen sustancias activas que actúan como estimuladores, como polifenoles, polisacáridos, alginatos, poliaminas, pigmentos, aminoácidos libres, betainas y vitaminas. Así mismo, Romano et al. (2017), reporta que hay un interés constante en explorar el hábitat marino en busca de nuevos productos farmacéuticos, ya que gracias al avance en las tecnologías de cultivo y en las técnicas de biología molecular se han logrado identificar varios compuestos. Sobre lo mismo, Echave et al. (2021), señalan que las algas marinas son explotadas industrialmente para la obtención de pigmentos, polisacáridos o compuestos fenólicos con aplicación en diversos campos. Además, su rica composición en fibra, minerales y proteínas, las ha señalado como una fuente útil de estos componentes. Aunque todos los extractos mostraron una respuesta positiva en las pruebas cualitativas, la mayor intensidad de color se presentó en el extracto de *Sargassum* spp. y *Gracilaria* spp. Al respecto, Cassio et al. (2020), menciona que aunque las algas marinas son una fuente de varios compuestos bioactivos, pocos estudios han descrito y caracterizado la actividad de los alcaloides de algas marinas.

En relación a fenoles, la mayoría de los extractos de macroalgas presentaron esta pigmentación con excepción de *U. clathrata*. Al respecto, Cotas et al. (2020), señalan que las algas marinas son

una valiosa fuente de compuestos polifenólicos como florotaninos, bromofenoles, flavonoides, terpenoides fenólicos y aminoácidos similares a las micosporinas, siendo los florotaninos la clase polifenólica principal que se encuentra en las algas pardas marinas. Así mismo Gómez-Guzmán *et al.* (2018), reporta que la mayor proporción de compuestos fenólicos presentes en las algas verdes y rojas son bromofenoles, flavonoides, ácidos fenólicos, terpenoides fenólicos y aminoácidos similares a las micosporinas. Estas moléculas se consideran metabolitos secundarios, ya que son agentes protectores que se producen en respuesta a diferentes estímulos y son mecanismos de defensa de las algas frente a la herbivoría y la radiación UV.

Con respecto a peptidos y proteínas se pudo observar que los extractos no presentaron la coloración de rosa-violeta, sino que su expresión en la pigmentación fue más con tendencia a un color turbio u oscuro. Los resultados son consistentes con lo reportado por Echave *et al.* (2021), quien menciona que el contenido de proteína en las algas marinas es variable entre las algas rojas (Rhodophyta), marrones (Ochrophyta) y verdes (Chlorophyta) y que en el caso de las algas rojas se consideran la fuente de proteínas más destacada, con un contenido de proteína que representa entre el 19 y 44% del peso seco, mientras que las verdes y las marrones pre-

sentan cantidades de proteína más bajas, alrededor del 10 o 20% del peso seco, respectivamente. Estos compuestos bioactivos, se usan en la agricultura como acondicionadores del suelo. También se ha confirmado que los polisacáridos de macroalgas se utilizan como quelantes de iones metálicos y poseen grupos funcionales que tienen la capacidad de unirse a algunos microelementos con un valor nutricional importante para las plantas. Además, actúan como reguladores de crecimiento de plantas bajo condiciones de estrés mejorando el rendimiento y la productividad los cultivos (Hamed *et al.* 2018).

## CONCLUSIONES

El extracto de la macroalga marina *Sargassum* spp., presentó la mayor actividad nematicida sobre la eclosión de huevecillos de *Meloidogyne incognita* y generó igual o mayor efecto en el porcentaje de germinación que el control con agua. Mientras que *U. lactuca* estimuló el crecimiento de tallo, mientras que *Sargassum* spp. y registró el contenido más alto de fitoquímicos. Los resultados demuestran el efecto benéfico de los extractos derivados de macroalgas marinas para el control de nematodos fitopatógenos como *Meloidogyne incognita*.

## LITERATURA CITADA

- Ali O, Ramsubhag A, Jayaraman J (2019) Biostimulatory activities of *Ascophyllum nodosum* extract in tomato and sweet pepper crops in a tropical environment. PLoS One 14(5): 1-19. DOI: 10.1371/journal.pone.0216710.
- Archidona-Yuste A, Cantalapiedra-Navarrete C, Lie'banas G, Rapoport HF, Castillo P, Palomares-Rius JE (2018) Diversity of root-knot nematodes of the genus *Meloidogyne* Goeldi, 1892 (Nematoda: Meloidogynidae) associated with olive plants and environmental cues regarding their distribution in southern Spain. PLoS One 13(6):e0198236. DOI: 10.1371/journal.pone.0198236.
- Bui HX, Gu M, Riva G, Desaeger JA (2022) *Meloidogyne* spp. infecting Asian vegetables in Central Florida, USA. Nematopica 52: 56-63.
- Cássio R, Souza M, Wallace P, Bezerra Souto T (2020) Marine alkaloids with anti-Inflammatory activity: Current knowledge and future perspectives. Mar Drugs 18: 147. Doi: 10.3390/md18030147.
- Chitwood DJ (2002) Phytochemical based strategies for nematode control. Annual Review of Phytopathology 40: 221-249.

- Cotas J, Leandro A, Monteiro P, Pacheco D, Figueirinha A, Gonçalves AMM, da Silva GJ, Pereira L (2020) Seaweed phenolics: from extraction to applications. *Mar Drugs*, 18(8): 384. DOI: 10.3390/md18080384.
- Craigie JS (2011) Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal Applied Phycology* 23: 371-393.
- Du Jardi P (2015) Plant bio-estimulantes: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* 196: 3-14.
- Echave J, Fraga-Corral M, García-Pérez P, Popović-Djordjević J, Avdović EH, Radulović M, Simal-Gándara J, Prieto M A (2021) Seaweed protein hydrolysates and bioactive peptides: Extraction, purification, and applications *Mar Drugs* 19: 500. DOI: 10.3390/md19090500.
- Egbuna C, Ifemeje JC, Maduako MC, Tijani H, Udedi SC, Nwaka AC, Ifemeje MO (2018) Phytochemical test methods: qualitative, quantitative and proximate analysis. *Phytochemistry*. Apple Academic Press. USA. pp: 381-426.
- Ghareeb RY, Ibrahim AA, Shokry R, Bayoumi and El-Habashy ED (2019) The nematicidal potentiality of some algal extracts and their role in enhancement the tomato defense genes against root knot - nematodes. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 29: 53. DOI: 10.1186/s41938-019-0153-5.
- Gómez-Guzmán M, Rodríguez-Nogales A, Algieri F, Gálvez J. (2018) Potential role of seaweed polyphenols in cardiovascular associated disorders. *Mar. Drugs*, 16: 250.
- Gomez-Zavaglia A, Prieto-Lage MA, Jimenez-Lopez C, Mejuto JC, and Simal-Gandara J (2019) The Potential of seaweeds as a source of functional ingredients of prebiotic and antioxidant value. *Antioxidants* 8: 406. DOI: 10.3390/antiox8090406.
- Hamed SM, El-Rhman AA, Abdel-Raouf N, Ibraheem BM (2018) Role of marine macroalgae in plant protection & improvement for sustainable agriculture technology. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences* 7: 104-110. DOI: 10.1016/j.bjbas.2017.08.002.
- Hernandez-Herrera RM, Santacruz-Ruvakcaba F, Ruiz-López MA, Norie J and Hernandez-Carmona G (2014) Effect of liquid seaweed extract on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal Applied Phycology* 26: 619-628.
- Johnson AW (1986) Management of root-knot nematodes by phenamiphos applied through an irrigation simulator with various amounts of water. *Of Nematology* 18: 364-369.
- Khan S, Abid M, Hussain F (2018) Nematicidal activity of seaweeds against *Meloidogyne javanica*. *Pakistan Journal of Nematology* 33: 195-203.
- Mahmoud SH, Salama DM, El-Tanahy AMM, Abd El-Samad EHA (2019) Utilization of seaweed (*Sargassum vulgare*) extract to enhance growth, yield and nutritional quality of red radish plants. *Annals of Agricultural Sciences* 64: 167-175.
- Mareggiani G, Leicach S, Laner P (1998) Toxicidad de extractos que contienen metabolitos secundarios de distintos organos de *Melia azedarach* L. al nematodo del nudo de la raíz. *Fitopatologia* 33: 122-129.
- Negreanu-Pirjol BS, Negreanu-Pirjol T, Popoviciu DR, Anton RE, Prelipcean AM (2022) Marine bioactive compounds derived from macroalgae as new potential players in drug delivery systems: A Review. *Pharmaceutics* 14: 1781. DOI: 10.3390/pharmaceutics14091781.
- Romano G, Costantini M, Sansone C, Lauritano C, Ruocco N, Ianora A (2017) Marine microorganisms as a promising and sustainable source of bioactive molecules. *Marine Environmental Research* 128: 58-69.

- Santaniello A, Scartazza A, Gresta F, Loreti E, Biasone A, Di Tommaso D, Piaggese A, Perata P (2017) *Ascophyllum nodosum* seaweed extract alleviates drought stress in *Arabidopsis* by affecting photosynthetic performance and related gene expression. *Frontiers in Plant Science* 8: 1362. DOI: 10.3389/fpls.2017.01362.
- SIACON (2019) Agrícola Municipal de Baja California Sur. Gobierno de México. <http://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>. Fecha de consulta: 3 de septiembre de 2022.
- Sikora RA, Fernández E (2005) Nematodes parasites of vegetables. In: Luc M, Sikora RA, Bridge J (eds) *Plant parasitic nematodes in tropical and subtropical agriculture*. 2nd ed. Wallingford: CAB International. Paris, France. pp: 319-392.
- Stirk WA, Tarkowska D, Turecova V, Strnad M, van Staden J (2014) Abscisic acid, gibberellins and brassinosteroids in Kelpak, a commercial seaweed extract made from *Ecklonia maxima*. *Journal Applied Phycology* 26: 561-567.
- Taba S, Takara A, Nasu K, Miyahira N, Takushi T, Moromizato Z (2009) *Alternaria* leaf spot of basil caused by *Alternaria alternata* in Japan. *Journal Genetics Plant pathology* 75: 160-162.
- Tileubayeva Z, Avdeenko A, Avdeenko S, Stroiteleva N, Kondrashev S (2021) Plant-parasitic nematodes affecting vegetable crops in greenhouses. *Saudi Journal of Biological Sciences* 28: 5428-5433. DOI: 10.1016/j.sjbs.2021.05.075.
- Williams TI, Edgington S, Owen A, Gange AC (2021) Evaluating the use of seaweed extracts against root knot nematodes: A meta-analytic approach. *Applied Soil Ecology* 168: 104170. DOI: 10.1016/j.apsoil.2021.104170.
- Yusuf R, Kristiansen P, Warwick N (2012) Potencial effect of plant growth regulators on two seaweed products. *Acta Horticulturae* 958: 133-138.