

Evaluación del Sargazo (*Sargassum* spp.) como componente de sustratos agrícolas

Assessment of *Sargassum* (*Sargassum* spp.) as a component of agricultural substrates

Herrera-Monroy, S.^{1*}, Ordaz-Chaparro, V. M.², Valdés-Velarde, E.³

¹Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Escuela Superior de Apan,
Carretera Apan-Calpulalpan s/n, Colonia, C. P. 43920 Chimalpa Tlalayote, Estado de Hidalgo, México.

²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. C. P. 56230,
Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

³Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5 Carretera México - Texcoco Chapingo, C.P. 56230,
Texcoco, Estado de México, México.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 02.10.2022

Accepted 28.04.2023

Keywords:

Germination

Agronomic performance

Physical characterisation

Chemical properties

Original Research Article,

Sustainable agriculture

*Corresponding author:

Herrera-Monroy, S.

E-mail address:

sonia_herrera@uaeh.edu.mx

ABSTRACT

Sargassum (*Sargassum* spp.) is a brown macroalga with anomalous arrivals on Caribbean beaches during the last decade, generating a problem for local tourism due to its unappealing look and smell when decomposing along the coast. To provide different management options, research studies have proposed incorporating it into different industrial processes ranging from cosmetics, construction and food production. The latter includes treatments leading to its physicochemical conditioning and subsequent use as an agricultural substrate, however, research on its performance is scarce. Therefore, this study aims to determine the physical and chemical characteristics of a sample of algae collected in Puerto Progreso, Yucatan, México, as well as their effect on the germination of two horticultural species. The results were compared with the characteristics and performance of peat (Peat moss®) and showed unfavourable physical properties when used as a single component, as well as high concentration of heavy metals, sodium and calcium ions that would limit its use in the food industry, in addition to negatively interfering with the germination stages. Therefore, it is suggested to test mixtures of sargassum with other materials that allow for improving its physical characteristics while buffering metal concentrations, in addition to devising mechanisms to reduce their concentration or completely eliminate them from the substrate.

RESUMEN

El sargazo (*Sargassum* spp.) es una macroalga parda que durante la última década ha presentado arribos anómalos en playas caribeñas, generando una problemática al turismo local por el aspecto y olor que adquiere cuando se descompone sobre el litoral. Para dar alternativas de manejo algunas investigaciones han propuesto incorporarlo a diferentes procesos industriales que van desde la cosmética, la construcción y la producción de alimentos. Dentro este último, se han reportado tratamientos para su acondicionamiento físico-químico y posterior uso como sustrato agrícola, sin embargo, las investigaciones de su desempeño son escasas. Por ello en el presente trabajo se determinaron las características físicas y químicas de una muestra del alga colectada en Puerto Progreso, Yucatán, México, así como las implicaciones de estas sobre la germinación de dos especies hortícolas. Las determinaciones fueron comparadas con las características y desempeño de turba (*Sphagnum* spp. comercialmente llamado Peat moss®). Los resultados mostraron propiedades físicas desfavorables cuando se usa como componente único, así como una alta concentración de plomo (Pb), ion sodio y calcio que limitan su uso en la industria alimenticia, además de que interfieren negativamente con las etapas de germinación. Debido a esto, se recomienda probar mezclas de sargazo con otros materiales que permitan mejorar sus características físicas, así como amortiguar las concentraciones de metales, además de idear mecanismos para reducir su concentración o eliminarlos completamente del sustrato.

Palabras clave: germinación, desempeño agronómico, caracterización física, propiedades químicas.

INTRODUCCIÓN

El sargazo (*Sargassum* spp.) es una macroalga que se distribuye en aguas tropicales y subtropicales alrededor del mundo, este organismo representa el sustento de importantes ecosistemas como el del “Mar de sargazos”

(Suárez y Martínez-Daranas, 2018). En la última década el sargazo ha comenzado a convertirse en un riesgo ecológico debido al incremento de su biomasa y arribo en algunas playas del caribe (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016).

Esta macroalga es abundante en el Mar Caribe durante los meses abril y mayo, pero desde 2011 ha presen-

tado incrementos considerables (Secretaría de Turismo, 2018). Por ejemplo, para el año 2015 el volumen recolectado en cinco municipios de Quintana Roo, México fue de 71.353 m³ (Rodríguez-Martínez, *et al.*, 2016) que equivalen a 52.810,12 toneladas en peso húmedo (Yan-gali, 2019; Rodríguez-Martínez, *et al.*, 2016). Para el año 2018 la cantidad de sargazo recolectado en una superficie menor (480 km de playa) fue de 150.000 toneladas (Ángeles-Rivero, 2018). Como consecuencia de su abundancia en los litorales y por el olor que despide cuando se descompone, el sector turístico ha sido el más afectado.

Para reducir los efectos negativos del arribo del alga se han desarrollado investigaciones que proponen su uso en la elaboración de alimento para ganado porcino, caprino y avícola (Castro-González *et al.*, 1994; Marín *et al.*, 2003), elaboración de calzado (Varillas, 2019), material para la construcción de casas (Excelsior, 2019), obtención de biocombustibles (Rial-Pérez *et al.*, 2010), extracción de alginatos usados como aditivo alimentario y otros derivados para la industria cosmética y farmacéutica (Camacho, 2012), además de su uso como sustrato agrícola (Cruz-Campos *et al.*, 2016; Ruiz-Espinoza *et al.*, 2016; Gayosso-Rodríguez *et al.*, 2018).

Esta última propuesta tiene inconvenientes técnicos como las altas concentraciones del ion sodio (Na⁺) en la estructura del sargazo y algunas características físicas que lo hacen poco apto (Gayosso-Rodríguez *et al.*, 2016), pero pueden ser mejoradas con tratamientos dirigidos al material recién recolectado (Rodríguez-Ortega, Orellana-Gallegos, 2008). Sin embargo, hasta el momento las investigaciones sobre el desempeño de este material como sustrato y la evaluación de las posibles consecuencias que su uso pudiera acarrear a los cultivos son escasas.

Para contribuir con la generación de información sobre el tema, en la presente investigación se realizó una caracterización de las propiedades físicas y químicas del sargazo, así como evaluaciones de desempeño del alga parda como sustrato para germinar plántulas de jitomate saladette de la variedad Rio Grande (*Solanum lycopersicum*) y chile jalapeño de la variedad AQT50 (*Capsicum annuum*). El objetivo del estudio fue registrar las características físicas y químicas de la macroalga como componente de un sustrato agrícola, así como las implicaciones que esto tendría sobre la germinación de dos especies hortícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención del material evaluado

Se obtuvieron 50 kg (peso húmedo) de sargazo (*Sargassum* spp.) en un trayecto de 41 km desde la playa de Puerto Progreso hasta Telchac Puerto, Yucatán, México seleccionado al azar cuatro puntos de recolección; 1) N 21°17'52,7" W 89° 35'37", 2) N 21°17'55,4"

W 89° 35'22,3", 3) N 21° 18'8,8" W 89° 34'6,3" y 4) N 21°20'36,3", W 89°16'11,5".

Tratamiento del alga y formulación de sustratos

El material recolectado se secó en estufa de aire forzado a una temperatura de 70 ± 1 °C hasta que alcanzó un peso constante, lo cual ocurrió en 72 horas. Posteriormente se tomaron cinco muestras de 50 g (peso seco) y se trituraron empleando un molino de martillos, se uniformizó el tamaño de partícula haciéndola pasar por un tamiz con aberturas de 7 mm de diámetro. Después, siguiendo las recomendaciones de Gayosso-Rodríguez *et al.* (2016), se realizaron cuatro lavados con agua corriente y uno más con agua destilada a una relación 1:5 (1 volumen sargazo por 5 volúmenes de agua) dejando reposar una hora entre cada cambio de agua, hasta obtener una disminución de la conductividad eléctrica (C. E.), esta resultó entre 1,38 y 1,34 dS m⁻¹.

Durante el proceso de lavado y posterior reposo del material se observó un incremento en las lecturas de C.E., por lo que se sospechó la existencia de sales dentro de los tejidos del alga. Para comprobarlo se realizaron observaciones de cortes histológicos de talos y filoides de sargazo en microscopio de barrido electrónico.

Rodríguez-Ortega y Orellana-Gallegos (2008), Ruíz-Espinoza, *et al.* (2016) reportaron que después de haber sometido al sargazo a diversos lavados con agua dulce, la liberación de sales continuaba además, detectaron una baja capacidad de retención de humedad, característico de materiales ricos en sales.

En esta investigación se evaluaron las propiedades físicas y químicas, así como la mineralización de una mezcla compuesta por sargazo tratado (lavado y triturado) más tezontle en proporciones 1:1 (un volumen de sargazo por un volumen de tezontle), con diámetro medio de partícula ≤ 7 mm y se comparó el tratamiento contra una mezcla de tezontle más turba (*Sphagnum* spp., de nombre comercial Peat moss®) con las mismas proporciones de material y características de diámetro de partícula.

Determinaciones físicas y químicas

La evaluación de propiedades físicas se realizó con base en la metodología recomendada por Ansorena-Miner (1994). Esta consistió en la determinación de diámetro medio ponderado de partículas (Dm) por el método de columna de tamices, analizando los resultados mediante un diseño completamente al azar, usando el software SAS® versión 9,0 (SAS Institute Inc. Campus Drive, Cary, North Caroline, USA) con procedimiento univariado de análisis de normalidad de datos, test de Bartlett para homogeneidad de varianzas y análisis de varianza (ANDEVA). La porosidad total (Pt), la porosidad de retención de agua (P. r. agua) la porosidad de

retención de aire (Paire), se determinaron mediante el empleo de permeámetros, además se obtuvo la curva de retención de humedad usando embudos con una membrana porosa de vidrio y aplicado tensiones equivalentes a 0, 10, 50 y 100 cm de columna de agua, equivalentes a $\psi_m = 0$ a 10 kPa de succión respectivamente. Los resultados de estas determinaciones se analizaron estadísticamente mediante un diseño completamente al azar, usando el software SAS® versión 9,0 (SAS Institute Inc. Campus Drive, Cary, North Caroline, USA) con procedimiento univariado de análisis de normalidad de datos, test de Bartlett para homogeneidad de varianzas, análisis de varianza (ANDEVA) y pruebas de comparación de medias Tukey ($p=0,05$), evaluando cuatro repeticiones por tratamiento en cada variable de porosidad, así como para cada tensión de columna de agua evaluada en la prueba de retención de humedad.

El análisis químico, en sorgazo lavado y molido, así como en turba (Peat moss®) sin mezclarlos con tezontle, consistió en la determinación del contenido de macroelementos totales: K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, P y microelementos: Fe⁺⁺, B⁺, Cu⁺⁺, S⁺, Mn⁺, Cl⁻, Pb⁻ y Zn⁺⁺, usando el equipo ICP-AES, para nitrógeno (N) se aplicó la técnica de destilación por arrastre de vapor Kjeldahl modificado por Bremner, 1965 (Tavera, 1985; Muñoz *et al.*, 2007), considerados en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000.

En las mezclas compuestas por sorgazo tratado + tezontle (S:T) y turba + tezontle (P:T) se cuantificaron las siguientes variables descritas en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000: Conductividad eléctrica (C.E.), pH 1:2, cationes solubles (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ y K⁺), los cloruros (Cl) y los bicarbonatos solubles (HCO₃⁻). Además, se determinó nitrógeno total mediante destilación por arrastre de vapor Kjeldahl modificado por Bremner, 1965 (Tavera, 1985; Muñoz *et al.*, 2007), Carbono orgánico (CO), por el método de calcinación (Ansorena-Miner, 1994) y tasa de mineralización evaluada durante 53 días por medio de trampas alcalinas propuestas por Guerrero-Ortiz *et al.* (2012).

Los resultados diarios de tasa de mineralización se analizaron estadísticamente mediante un diseño completamente al azar, usando el software SAS® versión 9,0 (SAS Institute Inc. Campus Drive, Cary, North Caroline, USA) con procedimiento univariado de análisis de normalidad de datos, test de Bartlett para homogeneidad de varianzas, análisis de varianza (ANDEVA) y pruebas de comparación de medias Tukey ($p=0,05$), evaluando cuatro repeticiones por tratamiento y reportando gráficamente los promedios diarios.

Evaluación del desempeño agronómico del sorgazo como sustrato para germinación

La evaluación del desempeño agronómico como sustrato para germinación, consistió en el registro y análisis

de la influencia de los sustratos sobre la germinación de semillas, para esto se determinó la absorción de agua utilizando el método de peso seco y peso húmedo (Bewley y Black, 1994), además de los siguientes parámetros: proceso de germinación (seguimiento fotográfico diario durante 10 días), porcentaje de germinación total (Formula 1), índice de germinación (Formula 2) y coeficiente de velocidad de germinación (Formula 3) determinados con la metodología recomendada por Sobrevilla-Solís *et al.* (2013) y Baruah *et al.* (2019).

$$PGT = \frac{\text{Semillas germinadas}}{\text{Total de semillas colocadas en cámara húmeda}} * 100 \quad (1)$$

$$IG = \sum_i^n x_i \text{ día de germinación} * \text{Número de semillas germinadas en día } x_i \quad (2)$$

$$CVG = 100 - \frac{\text{GI de tratamiento}}{\text{GI del control}} * 100 \quad (3)$$

Estas mediciones se llevaron a cabo en un experimento factorial 2x2 con diseño completamente al azar, estableciendo cuatro repeticiones por tratamiento en cámaras de germinación con capacidad de 4 L, mantenidas a humedad relativa interior de $90 \pm 1\%$, temperatura de $24 \pm 1^\circ\text{C}$ e iluminación constante a 1000 luxes, reportando únicamente promedios obtenidos (Cuadro 1).

Todos los datos obtenidos durante el desarrollo de las evaluaciones descritas anteriormente fueron analizados usando el software SAS® versión 9,0 (SAS Institute Inc. Campus Drive, Cary, North Caroline, USA) evaluando cuatro repeticiones por tratamiento, con procedimiento univariado de análisis de normalidad de datos, test de Bartlett para homogeneidad de varianzas, análisis de varianza (ANDEVA) y pruebas de comparación de medias Tukey ($p=0,05$) para los indicadores de germinación.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados durante prueba de germinación de plántulas de jitomate saladette var. Rio Grande (*Solanum lycopersicum*) y chile jalapeño var. AQT50 (*Capsicum annuum*).

Table 1. Treatments evaluated during the germination test of saladette tomato seedlings var. Rio Grande (*Solanum lycopersicum*) and jalapeño pepper var. AQT50 (*Capsicum annuum*).

Tratamiento	Mezcla	Especie vegetal establecida
S:T [†]	Sorgazo: Tezontle	Jitomate
		Chile
P:T	Turba: Tezontle	Jitomate
		Chile

[†]S:T sorgazo tratado+ tezontle, P:T turba+ tezontle.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinaciones físicas

De acuerdo con los resultados presentados en la Figura 1, el diámetro medio ponderado de las partículas de la mezcla S:T fue de $3,91 \pm 0,15$ mm y para P:T de $3,89 \pm 0,13$, las cuales al igual que la distribución del tamaño de partículas (Figura 1), no presentaron diferencias estadísticas ($p=0,05$) además ambas variables

se encuentran dentro del rango recomendado por Abad (2002) para la producción de cultivos en sustratos.

De igual manera, la densidad aparente (Dap) obtenida en ambas mezclas está dentro del rango óptimo y se clasifica como material ligero (Monsalve-Camacho *et al*, 2021). Sin embargo, es preciso señalar que la Dap de la mezcla S: T fue menor a la de P: T ($0,43 \pm 0,02$ g cm⁻³ vs $0,49 \pm 0,05$ g cm⁻³ con una DMSH= 0,13; F= 0,0016; $p<0,05$).

En la distribución de poros de ambas mezclas (Figura 2), destaca la de S:T donde la mayor proporción estuvo

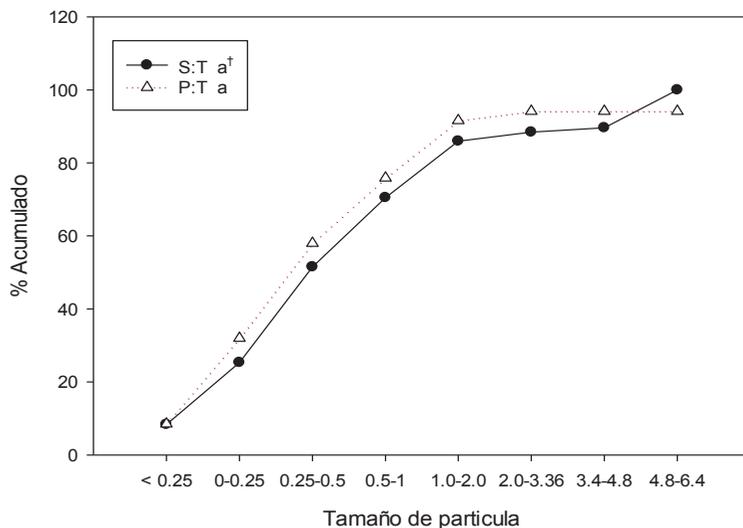


Figura 1. Distribución del tamaño de partículas en de mezclas de sargazo + tezontle (S:T) y turba + tezontle (P:T). †Grupos con distinta letra, denotan diferencias significativas ($p<0,05$). Test de comparación de medias Tukey.

Figure 1. Particle size distribution of mixtures of sargassum + tezontle (S:T) and peat + tezontle (P:T). †Groups with the different letter represent a difference ($p < 0,05$). Tukey mean comparison test.

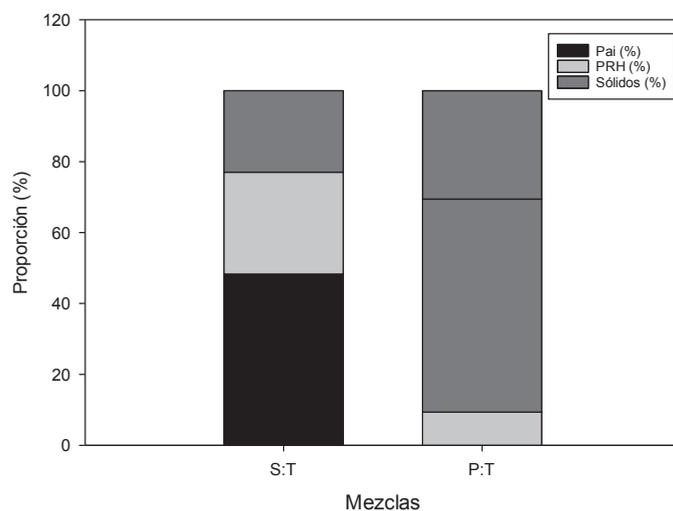


Figura 2. Distribución de poros en mezclas de sargazo + tezontle (S:T) y turba + tezontle (P:T). Donde Paire (%) proporción de poros que retienen aire, Pragua (%) proporción de poros que retienen agua y la suma de ambos corresponde a la porosidad total (Pt).

Figure 2. Distribution of pores in mixtures of sargassum + tezontle (S:T) and peat + tezontle (P:T). Where Paire (%) proportion of pores that retain air, P:water (%) proportion of pores that retain water and the sum of both corresponds to the total porosity (Pt).

compuesta por poros de aireación (45%), lo que impacta directamente en la capacidad del alga para anclar raíces (Gayosso-Rodríguez *et al.*, 2018) y en su porosidad de retención de agua (Figura 3), convirtiéndola en poco apta para cultivos de maceta (Cruz-Crespo *et al.*, 2013), mientras que la mezcla P:T presentó una proporción de poros ideal para proporcionar un buen desarrollo de raíces y unas condiciones adecuadas para el suministro de agua y oxígeno (Monsalve-Camacho *et al.*, 2021).

También se observó que la mezcla P: T presentaron capacidad de retención de humedad de 70% a una tensión de 0,33 cm en columna de agua (equivalentes a 0,032 kPa de presión) lo cual indica una óptima retención. En contraste la mezcla S: T obtuvo una capacidad de retención de humedad menor al 40% a 0,032 kPa de presión (DMSH=0,55; F=0,0001; P<0,05), por lo que para su uso deberá mezclarse el sargazo con otro material de mayor capacidad de retención de agua.

Determinaciones químicas

En el análisis de cortes de filoides y talos de sargazo (Figura 4) se identificaron cúmulos de Na y en menor medida de Ca entre las células, lo que implica que después de procesar el alga esta seguirá liberando dichos elementos y será necesario realizar tratamientos químicos para eliminarlos o amortiguar su efecto monitoreando las concentraciones disponibles durante el ciclo agrícola, para evitar que estos elementos interfieran con la nutrición del cultivo.

En ambos materiales se obtuvieron contenidos de carbono (C) cercanos al 40%, sin embargo los niveles

de N para cada material fueron distintas (Cuadro 2), clasificando a la turba como un material estable apto para ser usado como sustrato y perfilando al sargazo como un material con procesos de mineralización activos (Quintero *et al.* 2011; Guo *et al.*, 2012; Khan *et al.*, 2014; Delgado-Arroyo *et al.*, 2019), por lo que antes de usarse como componente de sustrato deberá ser sometido a compostaje o adicionar fertilizantes nitrogenados para evitar la competencia entre los microorganismos y la planta (Burés, 1997).

La descomposición activa del sargazo también fue evidente al evaluar la tasa de mineralización donde los resultados revelan que el contenido de carbono orgánico en las mezclas evaluadas, después de 53 días de incubación con respecto al contenido inicial, fue menor en la mezcla con sargazo (tasa de mineralización de mezcla S:T=19,9 , tasa de mineralización de mezcla P:T=6,6, DMSH=12,05; F=0,00001; P<0,05); es decir posee una pérdida de fracción orgánica mineralizable mayor que la mezcla con turba en el orden S: T > P: T (Figura 5). Estudios anteriores de mineralización de materiales crudos y altos en ligninas atribuyen la disminución de carbono orgánico y aumento de nitrógeno a la actividad microbiana desarrollada (Abdelhafez *et al.*, 2018).

Otro aspecto importante fue la determinación de elementos totales en sargazo (Cuadro 2), donde el contenido de Pb y Na son elevados con respecto a las concentraciones recomendadas en sustratos por Abad *et al.* (2005), así como los máximos permitidos por la norma del Departamento de Ambiente del Reino Unido (Monsalve-Camacho *et al.*, 2021), no obstante las

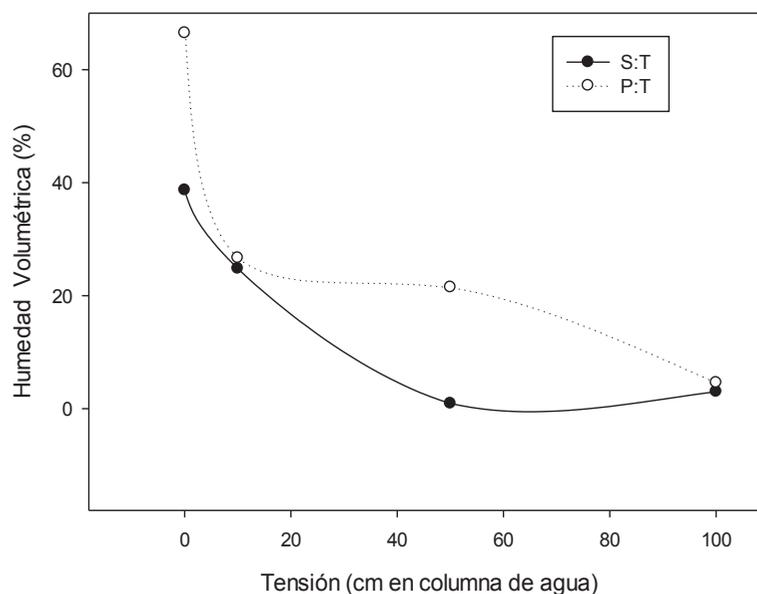


Figura 3. Curvas de retención de humedad de mezclas de sargazo + tezontle (S: T) y turba + tezontle (P: T).

Figure 3. Moisture retention curves for mixtures of sargassum + tezontle (S: T) and peat + tezontle (P: T).

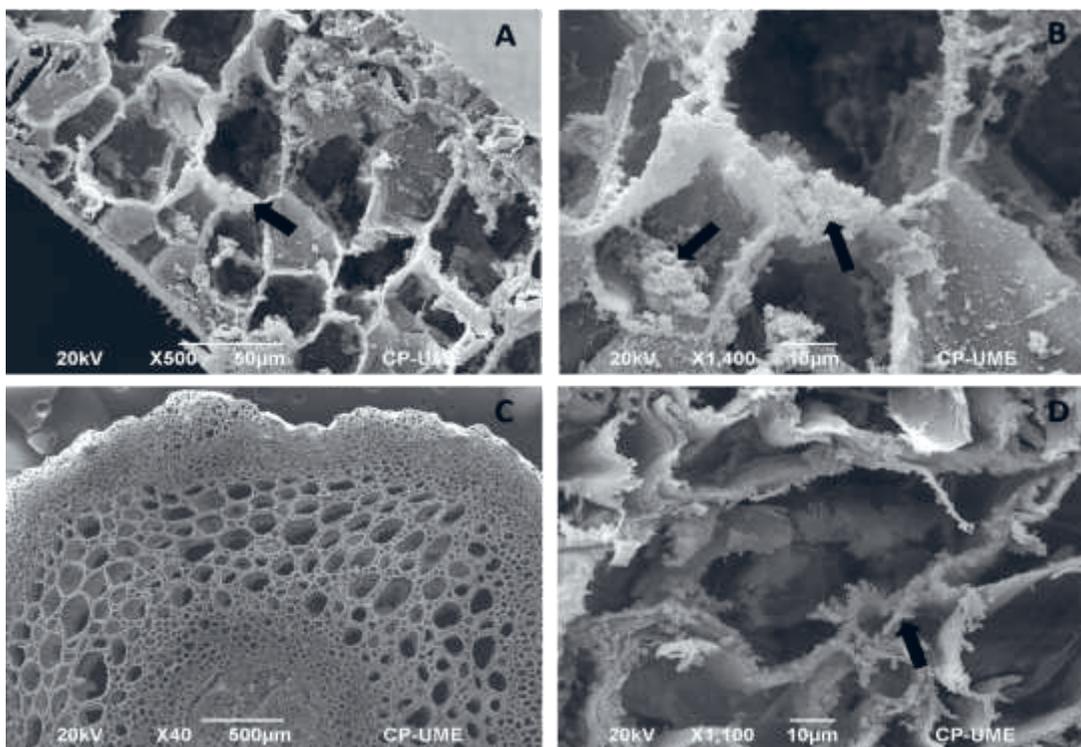


Figura 4. Corte transversal de filoide de sargazo (A-B), donde se observa acumulaciones de sodio y calcio en paredes de parénquima. Corte transversal de talo de sargazo (C-D) donde se observan paredes celulares con cúmulos de sodio y calcio.

Figure 4. Cross section of sargassum phylloids (A-B), where sodium and calcium accumulations are observed in parenchyma walls. Cross section of sargassum stem (C-D) where cell walls with sodium and calcium clusters are observed.

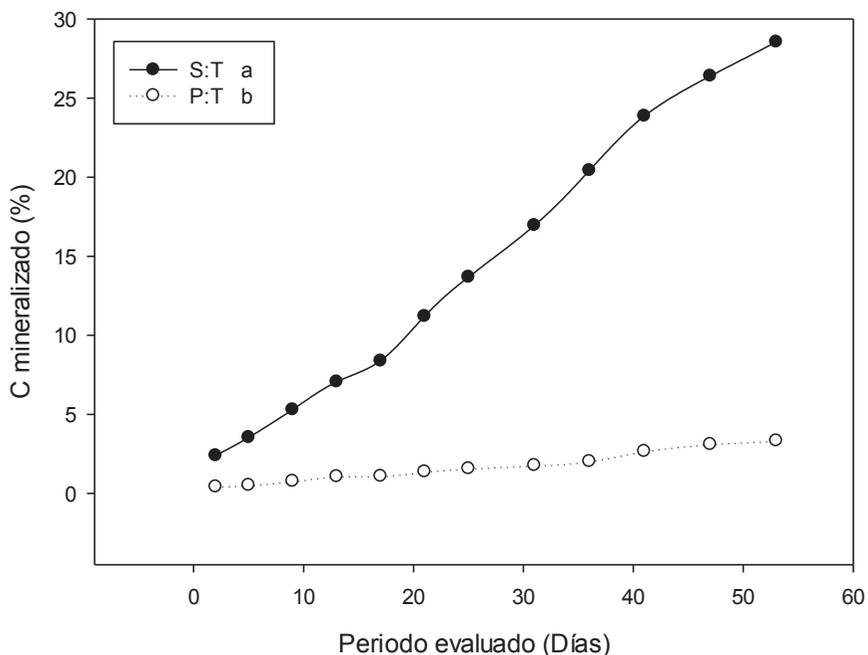


Figura 5. Tasa de mineralización expresada en porcentaje de carbono mineralizado de mezclas de sargazo + tezontle (S: T) y turba + tezontle (P: T) evaluadas durante 55 días.

Figure 5. Mineralization rate expressed as a percentage of mineralized carbon of mixtures of sargassum + tezontle (S: T) and peat + tezontle (P: T) evaluated during 55 days.

características de los lotes de alga difieren entre temporadas y lugares de recolección por lo que es pertinente monitorear la concentración de los elementos referidos antes de considerar usar al sorgazo como sustrato.

En cuanto al contenido de estos elementos y su efecto en el desarrollo de cultivos, se reporta que interfieren principalmente en la germinación y desarrollo de la mayoría de las especies vegetales (Kranter *et al.*, 2011); por ejemplo, concentraciones de 73,6 mg kg⁻¹ de Pb son potencialmente tóxicas (Sarma *et al.*, 2016), mientras que 20 mg kg⁻¹ reducen la germinación un 20% e inhiben la germinación de jitomate, frijol y trigo (Barauah *et al.*, 2019), también existen reportes sobre concentraciones de 2300 mg kg⁻¹ o menores de Na

que afectan la germinación y vigor de platas de tomate (Ruiz-Espinoza *et al.*, 2014) así como de alfalfa (Lastiri-Hernández *et al.*, 2017).

Es importante mencionar que los contenidos de elementos mostrados en sorgazo son totales, lo que significa que no toda esta concentración estará disponible inmediatamente para las semillas o plántulas, pese a ello, las acumulaciones intercelulares de Na y Ca, evidenciadas en los cortes histológicos, se liberarán durante la mineralización del sorgazo por lo que es importante considerar la interacción de estos elementos con los suministrados en soluciones nutritivas.

Por otro lado, en la Cuadro 3 es posible observar que la C.E. de las mezclas evaluadas se encuentran en el intervalo de 0,17 ± 0,12 dS m⁻¹ a 1,74 ± 0,33 dS m⁻¹, en el cual las plantas no presentan problemas de crecimiento (Timmer y Parton, 1982). No obstante, la mezcla S: T presenta problemas de alcalinidad, evidenciados por un pH cercano a 8, además de sodicidad ligera (Richards, 1994), proporciones 1:2 de Ca²⁺ y Mg, así como una relación NA⁺/CA²⁺ mayor a la de la mezcla P: T (Cuadro 3). Los problemas que el pH alcalino acarrea son la inmovilización de fósforo (Kumindi *et al.*, 2020), mientras que la relación Calcio: Magnesio y NA⁺/CA²⁺ sugiere que la disponibilidad de algunos elementos se reducirá (Salgado-García *et al.*, 2013) y habrá desórdenes en la germinación de semillas, así como en el desarrollo general de los cultivos establecidos en él (Hannachi *et al.*, 2018).

Cuadro 2. Contenido de elementos totales en turba y sorgazo.

Table 2. Content of total elements in peat and sorgassum.

Elemento (%)	Turba	Sorgazo
N	0,86	1,3
C	48,9	38,2
	mg kg ⁻¹	
P	350	16613,18
K	247	784,321
Ca	1970	19667,39
Mg	360	4429,58
Na	33	22368,22
S	3,05	5673,14
Fe	493	214,99
Cu	3,1	13,987
Zn	30	91,513
Mn	14	6,487
B	*	720,22
Pb	*	89,50

*Trazas de elemento

Evaluación del sustrato en germinación

En la determinación de parámetros de germinación se observó una mayor cantidad de agua absorbida en la mezcla S: T en comparación con el tratamiento P: T (Tabla 4). Un comportamiento similar fue reportado por Hannachi *et al.* (2018) en semillas de berenjena (*Solanum melongena* L.) germinadas en medios de cultivo con una relación alta de Na⁺/Ca²⁺, el cual propicio un incremento en la permeabilidad de la pared celular y por ende la cantidad de agua absorbida por semillas, tal como la que se presentó en la mezcla S: T. En este mismo tratamiento se obtuvo una disminución en el coeficiente de velocidad de germinación (CVG) en se-

Cuadro 3. C. E., pH, cationes intercambiables (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na, K) y bicarbonatos de sustratos evaluados.

Table 3. C. E., pH, exchangeable cations (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na, K) and bicarbonates of evaluated substrates.

Sustrato	C.E.	pH	HCO ₃	Ca	Mg	Na	K
	(dS m ⁻¹)						
S: T [†]	1,74 ± 0,33	7,72 ± 0,15	0,52	1,14	2,68	2,15	0,51
P: T	0,17 ± 0,12	6,6 ± 0,05	0,12	0,49	0,51	0,56	0,16

[†]S: T sorgazo tratado+ tezontle, P: T turba+ tezontle.

millas de jitomate, lo cual corresponde con los efectos observados en semillas germinadas en sustratos contaminados con metales como el Pb (Baruah *et al.*, 2019).

Durante el desarrollo de la de germinación, las plántulas de jitomate y de chile germinadas en la mezcla S: T, presentaron deformaciones en la radícula, un menor desarrollo de ramificación en las mismas y hojas cotiledones con puntas necrosadas (Figura 6). Como se ha mencionado anteriormente, al igual que los índices

usados para evaluar la germinación, el comportamiento de la germinación en ambas especies concuerda con el contenido de ion Na⁺ y metales pesados presentes en el sustrato sobre el cual fueron germinadas.

Así mismos, la apariencia de las plántulas coincide con lo descrito por Kinsou *et al.* (2019) y Baruah *et al.* (2019) quienes mencionan que algunos síntomas por exceso de metales son: desarrollo limitado o deformación de radícula, quemaduras de testas y/o radículas

Cuadro 4. Comportamiento de la germinación de semillas de chile y jitomate en mezclas de sargazo + tezontle (S: T) y turba + tezontle (P: T).

Table 4. Germination behaviour of chilli and tomato seeds in mixtures of sargassum + tezontle (S: T) and peat + tezontle (P: T).

Mezcla	Especie	Agua absorbida (g)	PGT	CVG	IG
S: T	Jitomate	0,016 a	65 a	0,105 b	4,09 a
P:T		0,013 b	80 a ^x	0,171 a	1 a
DMSH		0,004	53,31	0,13	15,53
F		0,00012	0,001	0,000015	0,0001
S:T	Chile	0,044 a	55 a	0,059 a	0,39 a
P:T		0,039b	85 a	0,062 a	1,02 a
DMSH ^y		0,005	62,26	0,049	1,57
F		0,00001	0,00016	0,0001	0,00001

PGT % de germinación total; CVG Coeficiente de velocidad de germinación; IG Índice de germinación. ^xGrupos con distinta letra, denotan diferencias significativas (p < 0,05), mediante test de comparación de medias de Tukey.^y DMSH= Diferencia Mínima Significativa Honesta.



Figura 6. Comportamiento de germinación de plántulas de jitomate (A) y chile (B) establecidas en mezcla de sargazo + tezontle (S: T). Proceso de germinación de plántulas de jitomate (C) y chile (D) establecidas en mezcla de turba + tezontle (P: T).

Figure 6. Germination kinetics of tomato (A) and pepper (B) seedlings established in a mixture of sargassum + tezontle (S: T). Kinetics of tomato (C) and pepper (D) seedlings established in a mixture of peat + tezontle (P: T).

(visualmente identificado por oscurecimiento o coloración intensa) y supresión del desarrollo del embrión reflejado en una disminución en el porcentaje de germinación o en la velocidad de esta.

CONCLUSIONES

Este estudio mostro que las características físicas y químicas del sargazo, cuando este es recolectado y mínimamente procesado, lo hacen poco apto para ser usado como componente de sustratos agrícolas. La principal desventaja física del alga es su baja capacidad para retener humedad, mientras que los contenidos de Na y el Pb generan limitaciones importantes para su uso ya que interfieren con la germinación y el desarrollo de cultivo, además de que para el caso del Pb su concentración en el lote de alga estudiado sobrepasa los máximos permitidos por la norma del Departamento de Ambiente del Reino Unido. En futuros estudios se recomienda probar mezclas de sargazo con otros materiales que permitan mejorar sus características físicas, así como amortiguar las concentraciones de metales, además de idear mecanismos para reducir su concentración o eliminarlos completamente del sustrato.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado, así como al laboratorio de Física de suelos y al Departamento de Edafología del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México por los espacios físicos facilitados durante el desarrollo de la presente investigación.

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaramos no tener ningún conflicto real o potencial de intereses incluyendo cualquiera de índole económico, personal o de otro tipo con otras personas u organizaciones que pudiera ser percibido o influir de manera inapropiada en el desarrollo de este trabajo. Lo anterior considerando las actividades desarrolladas en los últimos tres años, que tuvieran relación con el presente trabajo remitido a Agro Sur.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad, B. M., Noguera, P., y Carrión, B. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. *In*: Tratado de cultivo sin suelo (Ed. Urrestarazu M). Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp: 113-158.
- Abad, B. M., Noguera, P., y Carrión, B. 2005. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. Capítulo 8. Pp. 299-354. *In*: C. Cadahia L. (ed.). Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Mundi-Prensa. Madrid, España. ISBN: 8484762475, 9788484762478.
- Abdelhafez, A. A., Abbas, M., Attia, T. Z., Bably, W. E., & Mahrous, S. E. M. (2018). Mineralization of organic carbon and ni-

- trogen in semi-arid soils under organic and inorganic fertilization. *Environmental Technology and Innovation*, 9, 243-253. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.12.011>
- Ángeles-Rivero, M. A. (04/10/2018). Recolectan más de 150 mil toneladas de sargazo en 4 meses en Q. Roo. <https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/sargazo-can-cun-recolectan-150-mil-toneladas-4-meses/>
- Ansorena- Miner, J. 1994. Sustratos; propiedades y caracterización. Editorial Mundiprensa. Madrid, España. Pp 11-168.
- Arredondo-Vega, B. O. 2007. Determinación de peso seco y contenido orgánico e inorgánico. Voltolina eds. Investigaciones biológicas del noreste, s. C. La paz, b. C. S. México. 41 p.
- Ayala-Garay, O. J., Pinzón-López, I. L., Latournerie-Moreno, I., Ayala-Garay, A. V., & Tovar-Carvajal, S. 2018. Adaptaciones metodológicas para evaluar la calidad fisiológica en semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agroproductividad*, 11(9): 9-14.
- Baruah, N., Mondal, S., Farooq, M., Gogoi, N. 2019. Influence of heavy metals on seed germination and seedling growth of wheat, pea, and tomato. *Water Air Soil Pollut.* 230:273
- Bewley J. D., Black M. 1994. Seeds. Physiology of development and germination. Plenum press. Second ed, New York. Usa. 445 p.
- Bolan, N. S. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil* 134(2): 189-207. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf00012037>
- Burés, S. 1997. Sustratos. Agrotécnicas S. L. Madrid, España. 340 p.
- Camacho O., Hernández-Carmona, G. 2012. Fenología y alginos de dos especies de *Sargassum* de la costa caribe de Colombia. *JATAY*. 38(2): 35-40.
- Castro-González, M.I., Carrillo-Domínguez, S., Pérez-Gil, F. 1994. Composición química de *Macrocystis pyrifera* (sargazo gigante) recolectada en verano e invierno y su posible empleo en alimentación animal. *Ciencias Marinas*. 20 (1): 33-40.
- Cruz-Campos, J. M., Álvarez-Suárez, J. M., Soria-Fregoso M. de J., Candelaria-Martínez, B. 2016. Producción de sustratos orgánicos para ornamentales a menor costo que los importados. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 25 (1): 44-49.
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, A., Sandoval-Villa, M., Bugarín-Montoya, R., Robles-Bermúdez, A., Juárez-López, P. 2013. Sustratos en la horticultura. *Biociencias*. 2 (2): 17-26.
- Delgado-Arroyo, M del M., Mendoza-López, K., Gonzales, M., Tadeo-Lluch, J., Martínez-Sánchez, J. 2019. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 35 (4) 965-977. DOI: 10.20937/RICA.2019.35.04.15
- Excelsior. (26/06/2019). La creatividad mexicana: fabricar casas con sargazo. *Excelsior*. <https://www.excelsior.com.mx/nacional/la-creatividad-mexicana-fabricar-casas-con-sargazo/1312130>
- Gayosso-Rodríguez, S., Borges-Gómez, L., Villanueva-Couoh, E., Estrada-Botello, M. A., Garruña, R. 2016. Conductividad eléctrica y sales en lavados de fibra de coco y sargazo. *Ciencia y Tecnol. Agrop.* 4 (1): 18-24.
- Gayosso-Rodríguez, S., Borges-Gómez, L., Villanueva-Couoh, E., Estrada-Botello, M. A., Garruña, R. 2018. Ca-

- racterización física y química de materiales orgánicos para sustratos agrícolas. *Agrociencia* 52: 639-652.
- Guerrero-Ortiz, P. L., Quintero-Lizaola, R., Espinoza-Hernández, V., Benedicto-Valdés, G.S., Sánchez-Colín, M. de J. 2012. Respiración de CO₂ como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de *Lupinus*. *Terra Latinoamericana*. 30 (4): 355-362.
- Guo, R., Li, G., Jiang, T. 2012. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresour. Technol.* 112, 171-178. DOI: 10.1016/j.biotech.2012.02.099
- Hannachi, S., & Van Labeke, M.C. 2018. Salt stress affects germination, seedling growth and physiological responses differentially in eggplant cultivars (*Solanum melongena* L.). *Scientia Horticulturae*, 228, 56–65. Doi: 10.1016/j.scienta.2017.10.00
- Kinsou, E., Montcho, D., Zanklan, S., Koffi Kpinkoun, J., Assogba Komlan, F., Goudjo Mensah, C., Gandonou, C. B. 2019. Salt Resistance of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Cultivars Produced in Benin at Germination Stage. *International Journal of Plant & Soil Science*. 28 (2):
- Khan N., Clark L., Sánchez M.M., Shea S., Meier S. y Bolan N. (2014). Maturity indices in co-composting of chicken manure and saw dust with biochar. *Bioresour. Technol.* 168, 245-251. DOI: 10.1016/j.biotech.2014.02.123
- Kumuduni Niroshika Palansooriya, Sabry M. Shaheen, Season S. Chen, Daniel C.W. Tsang, Yohey Hashimoto, Deyi Hou, Nanthi S. Bolan, Jörg Rinklebe, Yong Sik Ok. 2020. Soil amendments for immobilization of potentially toxic elements in contaminated soils: A critical review, *Environment International*. 1341. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105046>.
- Lastiri-Hernández, M. A., Álvarez-Bernal, D., Soria-Martínez, L. H., Ochoa-Estrada, S y Cruz-Cárdenas, G. 2017. Efecto de la salinidad en la germinación y emergencia de siete especies forrajeras. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8 (6): 1245-1257.
- Marín, A., Casas, M., Carrillo-Domínguez, S., Hernández, H., Monroy, A. 2003. Performance of sheep fed rations with *Sargassum* spp. *Sea algae. Cuban J. Agric. Sci.* 37(2): 119-123.
- Monsalve-Camacho, O., Henao-Toro, M., Gutiérrez-Díaz, J. 2021. Caracterización de materiales con uso potencial como sustratos en sistemas de cultivo sin suelo. *Cienc. Tecnol. Agropecuaria*. 22(1): e1977.
- Muñoz I. D., Mendoza C. A., López G. F., Soler A. A., Hernández M. M. 2007. Edafología manual de métodos de análisis de suelo. Universidad Nacional Autónoma de México. 82 p.
- Quintero, M. F., Melgarejo, M. R., Ortega, D. F., Valenzuela, J. L., & Guzmán, M. 2011. Temporal physicochemical variations in burnt rice husk: Improvement of fertigation protocols in carnation crops. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 9(3-4), 727-732.
- Rial-Pérez, L., Salgueiro-Fernández, J. L., Maceiras-Castro, R. 2010. Producción de biodiesel mediante transesterificación in situ a partir de algas marinas. *Meubook*, S.L. ISBN: 978-84-943003-2-5.
- Richards, L.A. 1994. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Laboratorio de salinidad de los E.U.A. UTEHA. Noriega Editores, México. 172 p.
- Rodríguez-Ortega, W., Orellana-Gallegos, R. 2008. Utilización de algas marinas como componente de sustratos para la producción de plántulas de acelga y lechuga. *Agricultura orgánica*. 3: 39-40.
- Ruiz-Espinoza, F.; Hernández, E.; Beltrán-Morales, F.; Zamora-Salgado, S.; Loya-Ramírez, J.; Luna-Ortega, J. 2016. Macroalgas como componente en el sustrato para producción de plántula de albahaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 17: 3543-3555
- Ruiz-Espinoza, F. H., Villalpando-Gutiérrez, R. L., Murillo-Amador, B., Beltrán-Morales, F. A. y Hernández-Montiel, L. G. 2014. Respuesta diferencial a la salinidad de genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en primeras etapas fenológicas. *Terra Latinoamericana* 32 (4): 311-323.
- Salgado-García, S., Palma-López, D., Castelán-Estrada, M., Lagunes-Espinoza L., Ortíz-Laurel, H. 2013. Manual para muestreo de suelo, plantas y aguas e interpretación para la producción sostenible de alimentos. Colegio de Postgraduados. México. 99 p.
- Sarma, H., Islam, N. F., Borgohain, P., Sarma, A., & Prasad, M. N. V. 2016. Localization of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in surface soil of Asia's oldest oil and gas drilling site in Assam, north-east India: implications for the bio-economy. *Emerging Contaminants*, 2(3), 119–127.
- Secretaría de Turismo. (2018). Fondo sectorial para la investigación, el desarrollo y la Innovación tecnológica en turismo; Convocatoria 2018-2. Demanda específica: "Sargazo". (p.1). México: Secretaría de Turismo.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002, diciembre 31). Norma Oficial Mexicana NOM-021-REC-NAT-2000, Que establece las normas de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario oficial de la Federación. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>
- Sobrevilla-Solís J.A., López-Herrera M., López-Escamilla A. L., Romero-Bautista I. 2013. Evaluación de diferentes tratamientos pregerminativos y osmóticos en la germinación de semillas *Prosopis laevigata* (humb. & bonpl. Ex willd) m. C. Johnston. In Pulido-Flores, G. y Monk, S. (2013). Estudios científicos en el estado de Hidalgo y zonas aledañas. Lincoln, NE: Zea books. 2: 83-95.
- Suárez, A.M. y Martínez-Daranas, B. 2018. La problemática del sargazo en el Caribe En: Hernández-Zanuy A. C. (Ed.). Adaptación basada en Ecosistemas: alternativa para la gestión sostenible de los recursos marinos y costeros del Caribe. Red CYTED 410RT0396. (E. Book). Editorial Instituto de Oceanología, La Habana. 171 pp. ISBN: 978-959-298-043-3.
- Tavera, S. G. 1985. Criterios para la interpretación y aprovechamiento de los reportes de laboratorio para las áreas de asistencia técnica. Publicación 3.
- Timmer, V. R. & Parton, W. J. 1982. Monitoring nutrient status of containerized seedlings. In Proceedings, Ontario Ministry of Natural Resources Nurseryman's Meeting. Ministry of Natural Resources (pp. 48-58). Thunder Bay, Ontario.
- Varillas, A. (29/03/2019). Transforman PET y sargazo en zapatos ecológicos. *El universal*. <https://www.eluniversal.com.mx/estados/transforman-pet-y-sargazo-en-zapatos-ecologicos>

- Yangali, Marcial. (05/06/2019). El sargazo llega por miles de toneladas a las playas, la Semar recoge decenas. *Contra-linea*. <https://www.contralinea.com.mx/archivo-revista/2019/06/05/el-sargazo-llega-por-miles-de-toneladas-a-las-playas-la-semar-recoge-decenas/>
- Zamudio González, A. A. Vázquez, G. Alcántar González, J. D. Etchevers Barra y Tadeo Robledo, M. 2011. Movimiento vertical de fósforo en suelos arenosos con fertirriego y uso de mejoradores. *Terra Latinoamericana* 29(3): 249-258.

