

Aplicación del *Sargassum sp.* para la producción de vermicomposta utilizando lombriz de tierra, *Eisenia foetida* (lombriz roja californiana)

Application of Sargassum sp. for the production of vermicompost using the earthworm, Eisenia foetida (Californian red worm)

Jair Guillermo Méndez-Covarrubias¹, Luis Felipe Solís-Hernández¹,
Carolina Peña-Montes*², Luis Alberto Peralta-Peláez*¹

¹Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos, Laboratorio de Ingeniería Ecológica Ambiental y Ciencias, Instituto Tecnológico de Veracruz, Tecnológico Nacional de México, Veracruz, México

²Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos, Laboratorio de Genética Aplicada, Instituto Tecnológico de Veracruz, Tecnológico Nacional de México

Calz. Miguel Ángel de Quevedo 2779. Col. Formando Hogar, 91897 Veracruz, Veracruz, México
Correos-e (e-mails): carolina.pm@veracruz.tecnm.mx; luis.pp@veracruz.tecnm.mx

*Autora y autor a quienes debe dirigirse la correspondencia / *Authors to whom correspondence should be addressed*

Recibido: Enero 15, 2023 / *Received: January 15, 2023*

Aceptado: Febrero 15, 2023 / *Accepted: February 15, 2023*

Resumen

El vermicompostaje es una de las tecnologías utilizadas para la biotransformación de diferentes tipos de residuos orgánicos. Los sustratos más utilizados son residuos del hogar y de áreas verdes. Recientemente, en la literatura se ha encontrado que se están empleando algas marinas como fuente de carbono en el vermicompostaje. Por ello, en el presente estudio se degradaron muestras del sargazo (*Sargassum spp.*) que arriba a las costas del Caribe mexicano y que representa un problema ambiental, social y económico. El objetivo fue obtener un biofertilizante o biomejorador de suelos. El sargazo se recolectó en las playas de Cancún, Quintana Roo, México. Se trasladó a los laboratorios ubicados en el estado de Veracruz, a 1,340 km de distancia. Del lote total de 25 kg en base húmeda se separó una muestra de 1.2 kg para su identificación. El resto se descompuso por biodegradación²⁰ espontánea y el material degradado fue enriquecido con un inóculo de origen vegetal (1:5 m/m) y, finalmente, utilizado como sustrato para la lombricultura con *Eisenia foetida*. Las especies de sargazo identificadas fueron *Sargassum natans* y *Sargassum fluitans*. Se obtuvo una vermicomposta que cumple con la mayoría de los valores establecidos en la norma para vermicomposta de residuos orgánicos. Debe mencionarse que en esta norma no se considera al sargazo como sustrato. La vermicomposta obtenida se empleó como biofertilizante de tres cultivos: Cilantro (*Coriandrum sativum*), albahaca roja (*Ocimum basilicum* L.) y epazote de zorrillo morado (*Chenopodium glaucum*), obteniéndose un crecimiento mayor de las plantas comparadas con controles sin vermicomposta durante el experimento. Puede concluirse que el uso del vermicompostaje y su uso en el cultivo de tres hierbas comestibles fué exitoso.

Palabras clave: Sargazo, lombrices, vermicomposta, biofertilizante/biomejorador de suelos

ABSTRACT

Vermicomposting is one of the technologies used for the biotransformation of different types of organic wastes. The most used substrates are household waste and green area waste. Recently, it has been found in the literature that seaweed is being used as a carbon source in vermicomposting. Therefore, in the present study, samples of sargassum (Sargassum spp.) that arrive on the coasts of the Mexican Caribbean and that represent an environmental, social, and economic problem were biodegraded. The objective was to obtain a biofertilizer or bio-soil improver. The sargassum was collected on the beaches of Cancún, Quintana Roo, Mexico. It was moved to a laboratory located in the state of Veracruz, 1,340 km away. From the total batch of 25 kg on a wet

²⁰ La fermentación es una biorreacción que involucra a la glucosa con *Saccharomyces cerevisiae* en condiciones anaerobias para producir alcohol etílico y bióxido de carbono y fue designada con ese nombre por Louis Pasteur por lo que ninguna otra biorreacción debe llevarlo [Nota de los(as) editores(as)]

basis, a sample of 1.2 kg was separated for identification. The rest decomposed by spontaneous biodegradation²¹ and the degraded material was enriched with an inoculum of plant origin (1:5 m/m) and, finally, used as a substrate for vermiculture with *Eisenia foetida*. The sargassum species identified were *Sargassum natans* and *Sargassum fluitans*. A vermicompost was obtained that meets most of the values established in the standard for vermicompost of organic waste. It should be mentioned that this standard does not consider sargassum as a substrate. The vermicompost obtained was used as a biofertilizer/biosoil improver for three crops: Coriander (*Coriandrum sativum*), red basil (*Ocimum basilicum* L.) and purple skunk epazote (*Chenopodium glaucum*), obtaining greater plant growth compared to controls without vermicompost during the experiment. It can be concluded that the use of vermicomposting and its use in the cultivation of three edible herbs was successful.

Keywords: *Sargassum*, earthworm, vermicompost, biofertilizer/biosoil improver

INTRODUCCIÓN

El sargazo es una macroalga estrictamente marina que pertenece al grupo de las *Phaeophyceae* o Feofíceas (Guiry y Guiry, 2020). Esta macroalga presenta una anatomía y fisiología complejas, muy similar a la de las plantas terrestres sin estar relacionadas evolutivamente. Hasta hoy se han descrito 361 especies del género *Sargassum* (Guiry y Guiry, 2020). Aunque las especies del género *Sargassum* tienen una distribución amplia, la mayor concentración y extensión de estas algas se ubica en el Atlántico Norte, en la región denominada "El mar de los sargazos", entre las corrientes marinas del Golfo de México, del Atlántico Norte y la Ecuatorial del Sur, a la altura de las Islas Bermudas (Buchan, 2009).

En el año 2009 se empezó a tener registro de arribazones atípicos de sargazo en diferentes países. En Ghana se registra por primera vez la presencia de esta alga en sus costas en ese mismo año (Addico y de-Graft-Johnson, 2016). Para 2011 se registraron arribazones masivos en países del Caribe desde Trinidad y Tobago a República Dominicana (Gavio et al., 2015). Así como en la costa oeste de África, de Sierra Leona a Ghana (Rodríguez-Martínez et al., 2016). En 2012 se reportaron llegadas atípicas del alga en las costas de Cuba (Moreira y Alfonso, 2013) y para el 2014, las afectaciones por arribo excesivo iniciaron en el Caribe Mexicano y sus alrededores (Rodríguez-Martínez et al., 2016). Entre 2018 y 2019, se alcanzaron extensiones de hasta 8,850 km² equivalentes a 20 millones de toneladas, afectando playas en el Golfo de México, Texas y Florida (Wang et al., 2019).

La presencia del sargazo sobre las playas genera un incremento en los procesos bacteriológicos debido a su descomposición. Como productos de este proceso está la formación de ácido sulfhídrico (H₂S) que, como ya se mencionó, genera un olor desagradable e irritante, además de dañino para la salud (Martínez-González, 2019). Finalmente, León (2019) reporta que el sargazo también libera concentraciones de ácido arsénico (H₃AsO₄), así como metano (CH₄) y bióxido de carbono (CO₂). Estos últimos son también gases de efecto invernadero y, en algunos casos, pueden reaccionar y generar ambientes ácidos. Este proceso de descomposición acelerada, aunado a grandes cantidades de sargazo es perjudicial para la mayoría de las especies marinas y favorece los procesos de acidificación del área (Robledo y Vázquez-Delfín, 2019).

Esto último impacta a los ecosistemas costeros como son playas, dunas, lagunas, pastos marinos, ríos, manglares, humedales herbáceos y particularmente al Sistema Arrecifal Mesoamericano, ecosistemas que ya están impactados por la acidificación de los mares y el incremento de la temperatura del agua que genera el blanqueamiento de corales. Aunado al impacto estético, turístico y ambiental, el impacto del sargazo también incluye a toda la fauna silvestre y a las pesquerías, así como a las familias que dependen de esta actividad por muchas generaciones (Aguirre-Muñoz, 2019). En 2015 surgieron en México lineamientos por parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), que permiten disponer de las algas recolectadas y así evitar impactos ecológicos de enterrar o tirar esta biomasa (León, 2019).

²¹ Fermentation is a bioreaction that involves glucose with *Saccharomyces cerevisiae* under anaerobic conditions to produce ethyl alcohol and carbon dioxide and was designated by that name by Louis Pasteur, so no other bioreaction should not carry such name [Editors' note]

Ante la amenaza que ha representado el sargazo en los últimos años, la diversificación de su uso y el aprovechamiento a escala comercial es una de las opciones que se están desarrollando actualmente. La obtención de materia prima para la industria química y alimentaria a partir del sargazo es una de las formas de aprovechamiento destacando la producción de geles o el consumo directo (Aguirre-Muñoz, 2019). Además, se ha usado para producir fertilizantes, biogás rico en metano, para extraer compuestos químicos valiosos para las industrias farmacéutica, alimentaria y forrajera, entre otros (Robles-de-Benito, 2019).

Se han encontrado elementos químicos de interés pertenecientes a las tierras raras, así como mercurio y arsénico en el sargazo. Estos dos últimos elementos representan un riesgo para la utilización del sargazo como alimento (Fernández et al., 2016; Addico y de-Graft-Johnson, 2016). Zermeño-Gonzalez et al. (2015) hacen mención de que también contiene elementos que son esenciales para el crecimiento de otras plantas. Por ello, la aplicación de algas marinas como potenciales biofertilizantes dado que son una fuente rica en nutrientes que promueven la rápida germinación de semillas, mejora su rendimiento y da resistencia a los cultivos (Ganapathy-Selvam et al., 2013; Spinelli et al., 2010; Thirumaran et al., 2009).

Sempera y colaboradores (2018) realizaron un estudio sobre el compostaje de *Sargassum natans* y *S. fluitans* como fuente de materia orgánica. Esos estudios sobre la aplicación de macroalgas marinas han demostrado que son recursos biológicos aceptables para ser utilizados como sustratos en compostajes orgánicos y en la obtención de fertilizantes líquidos.

Durán-Gálvez (1995) define la lombricultura como "una biotecnología que permite utilizar la lombriz de tierra, con el propósito de reciclar desechos orgánicos de los cuales se alimenta" esto da como resultado un compostaje rico en nutrientes para su uso en la agricultura a partir de diferentes sustratos orgánicos con diversas especies de lombriz, estando entre las más comunes la *Eisenia foetida*.

El uso de la biomasa de alga como fuente de carbono en el vermicompostaje ha sido ya encontrado en la literatura: El estudio de Fantonalgo y Salubre (2019) donde usaron *Sargassum sp.* de las costas de Filipinas finamente molidas con una biodegradación en un lapso de 15 días en combinación con estiércol de vaca en una relación (3:1) y se introdujeron las lombrices de tierra (*Eudrilus eugeniae*) para la obtención de vermicomposta.

Por otra parte, Ananthavalli et al. (2019) utilizaron algas predescompuestas *Halimeda gracilis*, *Gracilaria corticata*, *Sargassum wightii* y *Sargazo swartzii*, enriquecidas con estiércol de vaca en una relación (1:1), aplicando la lombriz *Perionyx excavatus* (lombriz de tierra) analizando valores fisicoquímicos y microbiológicos de los productos de biodegradación.

En estos estudios que utilizaron sargazo no se tiene información su utilización como sustrato para vermicomposta con un inóculo vegetal. Por ello en el presente estudio se tuvo como objetivo evaluar la degradación de un lote de sargazo proveniente de las costas del Caribe Mexicano mediante el uso de *Eisenia foetida* (Lombriz roja) con un inóculo vegetal para la obtención de vermicomposta potencialmente útil como para la producción de hierbas comestibles.

MATERIALES Y MÉTODOS

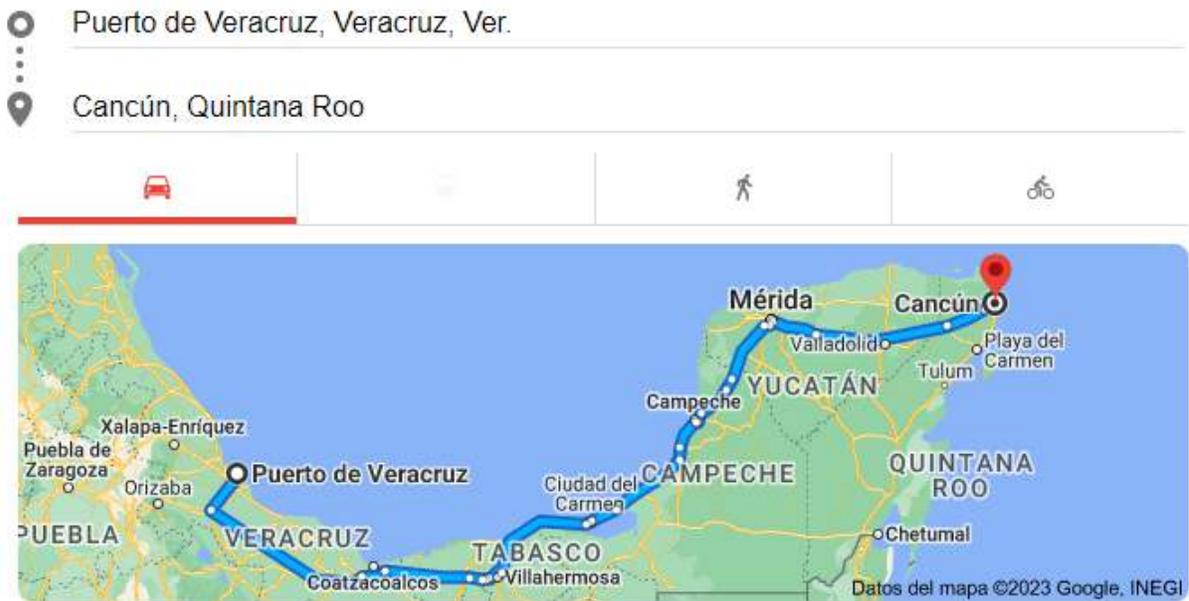
Recolección y transporte del lote de sargazo

Se obtuvieron 25 kg de sargazo en base húmeda con el fenotipo característico de vesículas de gas, alga color marrón, hojas aciduladas/apiculadas que permitió su identificación (Széchy et al., 2012). La recolección se realizó en la zona de playa del municipio de Benito Juárez, Quintana Roo, México, en las coordenadas 21°11'16.0"N 86°48'23.9"W. El sargazo se recolectó con ayuda de un rastrillo para jardinería y una carretilla en la tercera semana de septiembre de 2021. Una vez recogido, se escurrió

para reducir el contenido de agua y, posteriormente, se colocó en bolsas de plástico color negro. Se introdujo en una nevera de unicel de 65 cm x 40 cm x 30 cm, la cual se cerró herméticamente y se transportó al Puerto de Veracruz, Ver., México, en un lapso de cuatro días (Mapa A).

Lavado, triturado, identificación y almacenamiento de la muestra del sargazo

Al llegar al laboratorio, el sargazo se lavó para eliminar el exceso de sal y material orgánico no deseado como pastos marinos u otras algas. Se realizó una determinación cualitativa de las especies de sargazo en la muestra de acuerdo con Széchy y colaboradores (2012). Para ello se utilizaron 1.2 kg (masa húmeda) de la muestra. El material restante se cortó con un cuchillo de acero inoxidable con cubierta antiadherente de 32 cm x 4 cm x 2 cm, para la obtención de trozos de 0.75 ± 0.25 cm se empacó en un contenedor de polietileno y se almacenó en refrigeración hasta su uso.



17 h 3 min (1,328.9 km) por México 145D

Mapa A. Traslado de la biomasa de sargazo en condiciones de refrigeración de Cancún, Quintana Roo, México al Puerto de Veracruz, Veracruz, México (sitio de experimentación)

[<https://www.google.com/search?q=distancia+entre+el+puerto+de+veracruz+y+cancun+mexico&oq=distancia+entre+el+puerto+de+veracruz+y+cancun&aqs=chrome..69l57j33i160j33i22i29i30l3.16768j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8>]

Recolección de residuos vegetales domésticos (DO) y de tierra o inóculo vegetal (IV)

Se recolectaron alrededor de 2 kg (masa húmeda) de residuos de cocina (desechos vegetales) de un solo domicilio ubicado en Avenida Guadalupe Victoria en el municipio de Veracruz, Ver., México. Se realizó una reducción de tamaño para su uso como cosustrato, hasta obtener tamaños de 0.5 cm a 1 cm de grosor. Se obtuvieron 20 kg de inóculo vegetal (tierra negra) en un vivero de Veracruz, Ver., México, el cual se almacenó y transportó en un costal. Se realizó un tamizado en malla criba de 4 mm para obtener un inóculo más fino y libre de materia de no interés. No se realizó un análisis bromatológico de este lote de residuos porque como no es representativo no podría ser extrapolado a otras experimentaciones. En investigaciones futuras se considerará esta variable en caso de ser relevante.

Cría de lombriz roja (*Eisenia foetida*)

Las lombrices rojas que se utilizaron en el estudio se obtuvieron de vermiculturistas de Córdoba, Ver., México. Los organismos se aclimataron por 15 días y posteriormente se cultivaron en los sustratos de

acuerdo con la relación 1:10 (10 g de lombriz-100 g de sustrato). Después del periodo de biodegradación espontánea del sustrato, las lombrices se colocaron en las cámaras de biodegradación aerobias por un periodo de 45 días. Después de transcurrido este lapso se analizó el crecimiento de biomasa de la lombriz con respecto a la degradación del sargazo.

Preparación de sustratos

Se realizaron tres tratamientos con tres repeticiones cada uno, para la introducción de lombriz-sustrato se estableció una relación 1:10 para cada experimento a excepción del tratamiento denominado testigo. Se estableció una relación de 1:5 con relación sustrato-inóculo de tierra vegetal.

- **Primer tratamiento: Lombriz-Sargazo (LS)**

Se utilizaron 10 g de lombrices rojas para la degradación de 100 g de sargazo
Se estableció el uso de 100 g de sargazo en 500 g tierra vegetal

- **Segundo tratamiento: Lombriz-Sargazo/Desechos orgánicos (LSD)**

Se utilizaron 10 g de lombrices rojas (L) para la degradación de 100 g de sustrato [50% sargazo-50% desechos orgánicos (cosustrato)]
Se estableció el uso de 100 g de sargazo (S)-desechos orgánicos (D) en 500 g de tierra vegetal

- **Tercer tratamiento (control): Sargazo-Tierra o inóculo vegetal (ST)**

Se utilizaron 100 g de sargazo en 500 g tierra vegetal sin presencia de lombrices rojas.

Se dejó que las lombrices metabolizaran los sustratos de los tratamientos LS, LSD y ST durante 6 semanas (45 días). Se dio seguimiento a esta operación constantemente durante el tiempo establecido tomando parámetros como pH, humedad y temperatura.

Biodegradación de sustratos

Se realizó previamente al vermicompostaje una biodegradación espontánea de los sustratos (descomposición) para asegurar que las lombrices los ingieran. En este caso, los sustratos húmedos fueron premezclados y picados y se almacenaron en un recipiente tapado durante un periodo de 15 días, donde una vez finalizada la etapa de biodegradación se alcanzó una temperatura entre 24-30°C. La temperatura se midió mediante un termómetro de suelos y, para la humedad y pH, se utilizó un probador de suelos análogo "3 en 1" modelo X002RLS5X y un instrumento de estudio de suelos digital "4 en 1" modelo LNES22932.

Vermicompostaje

Preparación y mantenimiento de las cámaras de biodegradación

Los sustratos de la cámara de biodegradación se mantuvieron en una humedad del 70-80% mediante el riego de agua potable, desde el inicio de la siembra de lombrices hasta la cosecha del vermicompostaje. Se colocó sobre la parte superior un plástico de polietileno para invernadero de color negro con orificios para la ventilación, conservación de la humedad y mantenimiento de la temperatura; así como proporcionar un medio oscuro para mejor adaptación de la lombriz (Figuras 1A y 1B). También con el objetivo de evitar depredadores en los contenedores, las cámaras de degradación se mantuvieron alejadas de la luz solar directa. El riego de los biorreactores se realizó con agua potable y se llevó un control de la humedad, temperatura y el pH. La humedad se mantuvo en un rango de 70 a 80%, la temperatura entre 18 a 25°C y el pH de 6.5-7.5. Para garantizar estos rangos, se monitorearon por medio de un termómetro de suelo, un probador de suelos analógico "3 en 1" modelo X002RLS5X y un instrumento de estudio de suelos digital "4 en 1" modelo LNES22932.

Recolección de la vermicomposta y recuento de lombriz roja

Una vez pasado el periodo de degradación del sargazo a través del uso de lombrices rojas dentro del tiempo establecido en los tres tratamientos y el testigo (45 días); la vermicomposta se recolectó de manera manual y por pirámide. Se formó una pirámide del producto obtenido donde las lombrices

buscaron la parte inferior para asentarse, permitiendo que la parte superior de la pirámide libre de lombrices pueda ser removida y así sucesivamente hasta retirar las lombrices. La vermicomposta que se obtuvo se almacenó en un lugar fresco, se dejó secar al aire y las impurezas se eliminaron por medio de un tamizado en una malla criba de 4 mm. La masa²² en base húmeda y en base seca por aireación de cada tratamiento y su réplica, se comparó con relación con la masa inicial.



Figura 1. Biorreactores de los distintos tratamientos realizados durante el experimento, se observa tubería que permite el drenado de los lixiviados (A). Biorreactores cubiertos con plástico para mantener la humedad y temperatura estable (B)

La cuantificación de las lombrices rojas obtenidas se realizó de manera manual para cada tratamiento y su réplica, donde se obtuvieron de datos estadísticos.

Análisis fisicoquímicos

Se realizó un análisis fisicoquímico al producto obtenido de cada uno de los tratamientos. El muestreo y análisis se realizó acorde con la [NMX-FF-109-SCFI-2008 \(DOF, 2008\)](#) para vermicomposta de residuos orgánicos. Para el muestreo se tomó una porción del producto final, el cual se tamizó con una malla de 4 mm, posteriormente se secó al aire y se tamizó nuevamente, en esta ocasión usando una malla de 2 mm.

Se determinaron los siguientes parámetros: a) Humedad, la cual se determinó a través del método gravimétrico que se basa en la cantidad de agua presente en una muestra. b) Valores de pH y de potencial de oxidación-reducción (*ORP*, por sus siglas en inglés, *oxidation-reduction potential*) por

²² La masa y el peso no son sinónimos. La masa de un cuerpo es una propiedad intrínseca que se mide en kg y el peso es una fuerza que se ejerce sobre los cuerpos y se mide en N (néwtones) [Nota de los(as) editores(as)]

medio de un potenciómetro Hanna HI 8424. c) El porcentaje de materia orgánica, el cual se determinó por el procedimiento estándar de calcinación. d) El carbono orgánico total (CO) que se obtuvo por medio del factor de Van Bemmelen (Eyherabide et al., 2014) usando el método de Walkley y Black (1934). e) El nitrógeno total medido con un equipo Kjeldhal (NT). f) la relación de C/N, la cual se calculó dividiendo el porcentaje de carbono orgánico entre el porcentaje de nitrógeno para cada una de las muestras. f) La densidad aparente (ρ_b) por gravimetría.

Análisis microbiológico

Se determinaron los coliformes fecales conforme a la técnica del número más probable (NMP) al inóculo vegetal inicial y a la vermicomposta final (sustrato procesado por lombrices). Se realizaron las pruebas por triplicado con tres tipos de medios de cultivo diferentes (caldo lactosado, verde brillante y caldo E.C.), los cuales proporcionan los nutrientes necesarios para el desarrollo (crecimiento) de los coliformes fecales.

Se realizaron tres diluciones para cada uno de los cultivos de acuerdo con la normativa (10^0 , 10^{-1} y 10^{-2}). Se estimó el número de población de coliformes fecales al finalizar el tiempo establecido de 45 días para la degradación del sargazo y la obtención de vermicomposta (NMX-FF-109-SCFI-2008, DOF, 2008).

Evaluación de la vermicomposta como fertilizante

Obtención de las semillas

Las semillas de epazote de zorrillo/morado (*Chenopodium glaucum*), de albahaca roja (*Ocimum basilicum* L.) y de cilantro (*Coriandrum sativum*) se obtuvieron de agricultores de la zona veracruzana cercana a las instalaciones donde se realizaron las pruebas experimentales.

Vermiculita y semilleros

Se obtuvieron 6 litros de vermiculita (Uline) con las características fenotípicas idóneas de porosidad y durabilidad. Se adquirieron 10 charolas de germinación (conocidas como semilleros) con 12 celdas tipo Redlemon cada una. Las celdas se rellenaron hasta $\frac{3}{4}$ partes de su capacidad con vermiculita.

Cultivo en vermiculita

Se realizó la siembra de las semillas en los semilleros preparados con la vermiculita y se realizaron riegos cada 4 días. Para el caso de la albahaca y cilantro se dejaron germinar durante 15 días en los semilleros, mientras que para el epazote se dejó germinar por 30 días. Posteriormente, se trasplantaron a 'macetas' hechas con bolsas de polietileno negro.

Seguimiento de la siembra

Los cultivos se mantuvieron con riego constante empleando agua potable, desde el inicio de la siembra de los cultivos hasta su cosecha. Se cubrió un área de 2 x 1 m con una "malla sombra" para invernadero de color negro. Se llevó un seguimiento de los cultivos con los factores: Temperatura por medio de un termómetro de suelo y pH y humedad con un probador de suelos analógico "3 en 1" Modelo X002RLS5X, un instrumento de estudio de suelos digital "4 en 1" Modelo LNES22932.

Se evaluaron los siguientes parámetros de crecimiento: Número de hojas y altura y diámetro del tallo con un vernier. Los datos se obtuvieron diariamente desde el brote hasta su cosecha durante 60 días. Después de cada medición los equipos de medición utilizados fueron limpiados con alcohol isopropílico evaluando la **rapidez de crecimiento de las plantas**.

Análisis estadísticos

Los datos experimentales fueron tratados estadísticamente usando la paquetería Statgraphics Centurion XVI.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biodegradación espontánea

Después de realizar la biodegradación por un periodo de 15 días, los resultados obtenidos de temperatura, humedad y pH se muestran en la Tabla 1. Como puede observarse, los resultados obtenidos indican parámetros idóneos para la siembra de lombrices.

Tabla 1. Valores promedio de los parámetros de pH, humedad y temperatura, obtenidos durante el proceso de biodegradación espontánea de los sustratos durante dos semanas

Semana 1			
Tramamiento	pH	Humedad (%)	T (°C)
LS	7.16 ± 0.3	85.00 ± 5.0	31.00 ± 1.0
LSD	7.00 ± 0.0	88.33 ± 2.9	30.00 ± 0.0
ST	7.16 ± 0.3	93.33 ± 2.9	30.66 ± 1.1
Semana 2			
Tramamiento	pH	Humedad (%)	T (°C)
LS	7.00 ± 0.0	83.00 ± 1.7	26 ± 0
LSD	7.00 ± 0.0	84.66 ± 4.5	26 ± 0
ST	7.00 ± 0.0	86.00 ± 1.7	26 ± 0

Lombriz-Sargazo (LS); Lombriz-Sargazo/Desechos orgánicos (LSD); sargazo-inóculo sin la presencia de lombrices (ST) como control

En cada tratamiento la temperatura tiende a aumentar de manera no significativa oscilando entre los 26-30°C durante la primera semana, a partir del día nueve la temperatura presentó menor variación (24-26°C) en los tratamientos. De acuerdo con Somarriba-Reyes y Guzmán-Guillén, (2004), se encuentran en un rango idóneo para el desarrollo de las lombrices. Se puede considerar como un proceso de adaptación de la lombriz dentro de las primeras dos semanas. La temperatura ideal para el desarrollo de las lombrices fluctuó entre 25-28°C durante el experimento. Díaz (2002) menciona que la temperatura para un buen desarrollo puede oscilar entre los 25-40°C, datos que coinciden con lo encontrado en este experimento.

Con respecto al pH durante las primeras dos semanas fluctuó entre 6.6-7.2 hasta que se estabilizó en un pH 7. La variación observada se puede deber a la generación aun de residuos orgánicos que hicieran variar los valores del pH, hasta que se estabilizó debido probablemente al proceso de adaptación y metabolización de la lombriz roja. Los valores promedio encontrados durante los 45 días de experimento fueron, LS 6.98±0.056, LSD 7±0.042 y ST 7.01±0.05. Con respecto de los valores de pH entre los tratamientos no se observaron fluctuaciones significativas dado que los valores se mantuvieron en pH 7 ± 0.04, lo que se puede atribuir al tipo de inóculo utilizado. Ravera y De Sanzo (1999) y Frederickson y Ross-Smith (2004) consideran un pH óptimo de 6.5 - 7.5. Autores como Ananthavalli et al. (2019) y Fantonalgo y Salubre (2019), trabajaron con un inóculo a base de excretas de ganado bovino obteniendo parámetros de pH un poco más alcalinos en sus tratamientos, pero aún así dentro de los parámetros con los que debe contar la vermicomposta.

Con respecto de la humedad, la cual es un parámetro que durante las primeras semanas tendió a variar, al final no mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) durante el experimento, manteniendo un promedio del 80%. Los valores promedio encontrados fueron LS 80±3.35, LSD 79.47±3.48 y ST 80.05±3.38% (Tabla 1). La variación inicial observada puede deberse a varios factores como las condiciones climáticas del lugar (viento, temperatura ambiental, la propia humedad ambiental, entre otros). De acuerdo con Ananthavalli et al. (2019), la humedad óptima es del 75%. Sin embargo, se ha

descrito que los niveles de humedad pueden variar entre 70-80% (DOF, 2008: NMX-FF-109-SCFI-2008); estos valores facilitan la alimentación y supervivencia de la lombriz.

Obtención de vermicomposta

Pasados los 45 días de tratamiento, se recolectó la vermicomposta de los tres tratamientos de manera manual y piramidal, para cada tratamiento y su réplica. La vermicomposta presentó una coloración entre negro y café oscuro, una forma granulada, con un olor petricor (tierra húmeda) y ausente de olores "desagradables", sin presencia de lixiviados o exceso de agua (Figura 2A). La vermicomposta fue pesada, lo cual se consideró como masa²³ en base húmeda. Posteriormente, se realizó un secado por exposición al aire libre (Figura 2B) durante 24 horas aproximadamente. Se tomó nuevamente su masa considerándola como masa en base seca. Después se realizó un cernido con una malla de 4 mm de diámetros, con el propósito de tener gránulos < 4mm de la vermicomposta obtenida (Figura 2C).

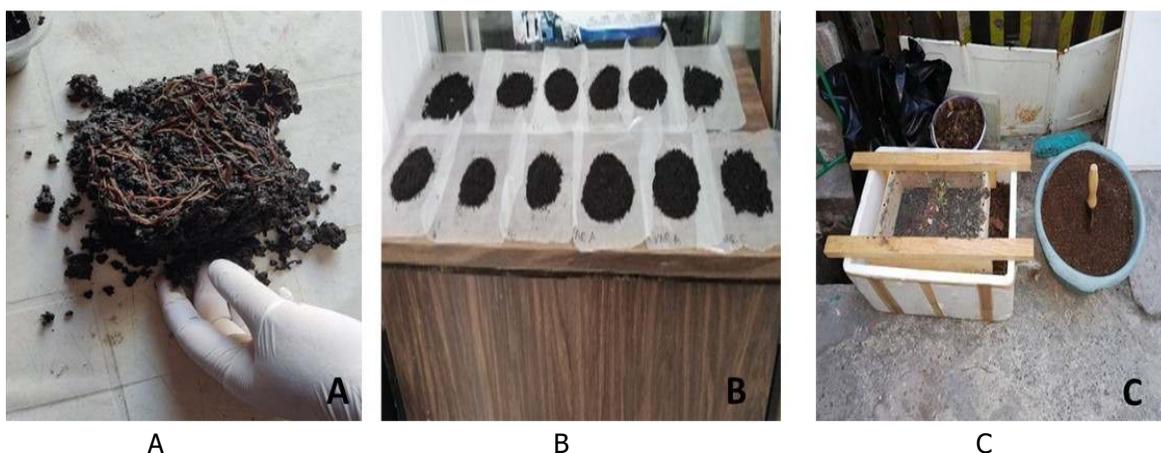


Figura 2. Obtención de la vermicomposta. A) Vermicomposta inicial obtenida. B) Vermicomposta en proceso de secado por exposición al aire libre. C) Vermicomposta tamizada (producto final)

Pruebas fisicoquímicas y microbiológicas de la vermicomposta

La Tabla 2 presenta los valores obtenidos de estas pruebas.

Tabla 2. Características fisicoquímicas y microbiológicas de la composta y vermicomposta

Parámetros	Inóculo Vegetal (IV)	Composta (ST)	Vermicomposta (LS)*	Vermicomposta (LSD)**
pH	7.15 ± 0.1	7.58 ± 0.1	7.26 ± 0.3	7.21 ± 0.1
Humedad (%)	24.74 ± 0.0	58.57 ± 1.3	40.91 ± 5.4	52.82 ± 6.0
Potencial de oxidación-reducción, <i>ORP</i> en inglés (mV)	-8.05 ± 0.8	-31.30 ± 5.8	131.59 ± 0.0	-10.43 ± 5.6
Materia orgánica, MO (%)	54.32 ± 0.0	49.91 ± 0.0	52.03 ± 0.0	51.20 ± 0.0
Carbono orgánico, CO (%)	28.87 ± 0.0	28.95 ± 0.0	30.18 ± 0.0	29.70 ± 0.0
Nitrógeno total, NT (%)	0.18 ± 0.0	0.22 ± 0.0	0.13 ± 0.0	0.08 ± 0.0
Relación carbono:nitrógeno, C/N	175 ± 0.0	131.59 ± 0.0	232.15 ± 0.0	371.25 ± 0.0
Densidad aparente, ρ_b (g/mL)	0.81 ± 0.0	0.57 ± 0.0	0.57 ± 0.0	0.60 ± 0.0
Coliformes totales, ***CT (NMP/g bs)	150	21	21	9
<i>Escherichia coli</i> , *** (NMP/g bs)	150	15	21	4

ST: *Sargassum sp.* + IV (relación 1:5); LS*: L + *Sargassum sp.* + IV (relación 1:10); LSD**: L + *Sargassum sp.* + IV/DO²⁴ (relación 1:10)

***Se determinaron en base seca (bs)

²³ La masa y el peso no son sinónimos. La masa de un cuerpo es una propiedad intrínseca que se mide en kg y el peso es una fuerza que se ejerce sobre los cuerpos y se mide en N (néwtones) [Nota de los(as) editores(as)]

²⁴ Como se mencionó en la metodología no se realizó un análisis bromatológico de este lote de residuos porque como no es representativo no podría ser extrapolado a otras experimentaciones. En investigaciones futuras se considerará esta variable en caso de ser relevante

Se compararon estos valores de la Tabla 2 con los establecidos en la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 (DOF, 2008) para vermicomposta obtenida de residuos orgánicos, los cuales pueden ser: a) Residuos de la producción agrícola. b) Residuos de agroindustrias. c) Residuos de sistemas pecuarios. d) Residuos de industrias de preparación y transformación de carnes y pescados. e) Residuos previamente mezclados con materiales vegetales de alta relación carbono/nitrógeno. f) Residuos orgánicos domiciliarios y residuos orgánicos de mercados y supermercados. g) Residuos orgánicos urbanos. h) Residuos de la industria maderera que no tenga sustancias tóxicas, lacas ni barnices. i) Lodos de plantas de tratamiento secundario de aguas servidas (domésticas y agroindustriales). Cabe mencionar, que en esta norma no se consideran las algas marinas como residuos orgánicos a utilizar para la obtención de vermicomposta.

Los valores de pH (Tabla 2) para la vermicomposta varían entre 6.5 y 7.5 unidades de pH, como se mencionó anteriormente, tomando en cuenta los parámetros establecidos en la NMX-FF-109-SCFI-2008; se busca obtener un pH entre 5.5 a 8.5. Los valores de pH se encuentran dentro del rango 7.21 ± 0.08 y el tratamiento 01:01 obtuvo un pH 7.58 ± 0.07 siendo este el más cercano a un pH alcalino. Estos valores se encuentran dentro de los establecidos en la norma.

La humedad fluctuó entre 40-58% (Tabla 2). La primera columna corresponde al blanco o testigo (ST) y las siguientes al tratamiento en la presencia de lombrices (LS) sin y con desechos orgánicos. Se mantuvo una humedad de 40 a 60% en base húmeda (bh). De acuerdo con la NMX-FF-109-SCFI-2008, se establece que los valores de 20 - 40% de humedad presente (bh) son los adecuados. Es importante mencionar que esta norma utiliza como inóculo el estiércol de ganado vacuno. Considerando que no existen antecedentes con la utilización de sargazo los datos obtenidos serían una línea base para futuras experimentaciones.

Con respecto a la materia orgánica expresada como % MO, fluctuó entre 49.91 a 52.03% (Tabla 2), siendo estos resultados adecuados considerando los límites permisibles (20 a 50% en base seca) (NMX-FF-109-SCFI-2008). [Ananthavalli et al. \(2019\)](#) reportan valores similares a los encontrados en este trabajo, empleando algas pardas, *S. wightii* con 46.40% y *S. swartzii* con 48.50%. En cuanto al porcentaje de carbono orgánico (CO) obtenido de los tratamientos, se muestran valores entre un 28.87 y 31.50%; lo cual indica presencia de hidratos de carbono y el grado de degradación del suelo ([FAO, 2009](#)).

Los resultados de la determinación de nitrógeno fueron bajos (Tabla 2) con respecto de lo que la normativa indica, donde el nitrógeno debe encontrarse entre el 1 al 4% en base seca. En todas las muestras se encontraron valores menores a 1%. De igual manera se tienen una diferencia con los trabajos de [Ananthavalli et al. \(2019\)](#) que reporta valores de 1.60% y 1.16% de nitrógeno en *S. wightii* y *S. swartzii*, respectivamente. Es importante mencionar que [Sembera y colaboradores \(2018\)](#), al igual que en este trabajo, obtuvieron valores por debajo de 1% (0.8%) en una composta hecha a base de sargazo. Una posible causa de las bajas concentraciones de nitrógeno encontradas en la vermicomposta de este estudio, son los niveles bajos que inicialmente presenta el sargazo, además de una posible reducción de compuestos de nitrógeno orgánico en esta vermicomposta por la microbiota asociada ([Lapointe et al., 2021](#)). De igual manera, debido a las bajas concentraciones de nitrógeno encontradas la relación C/N no cumple con los parámetros establecidos en la NMX-FF-109-SCFI-2008 que debe ser de ≤ 20 . Por ejemplo, se ha reportado que los valores de nitrógeno en el Sargazo pueden variar de acuerdo con la localización geográfica y la estación del año, por ejemplo, en invierno y primavera es más alto que en verano u otoño (menor al 1%); donde la relación C/N es menor al 20%. Adicionalmente, en el Caribe se ha encontrado un contenido de nitrógeno bajo en el sargazo (menor al 1%) ([Lapointe et al., 2021](#)). El sargazo utilizado en el presente estudio proviene del Caribe y fue recolectado en verano.

Los niveles de densidad aparente que se obtuvieron indican una compactación de suelo considerando lo establecido en la [NMX-FF-109-SCFI-2008](#) (DOF, 2008), entre valores de 0.40 a 0.90 g/mL, indicando

la presencia de partículas granuladas adecuada y una retención de humedad correcta que facilitaría el desarrollo de raíces aplicado como medio de cultivo, obteniendo parámetros entre 0.57 a 0.60 g/mL.

El grupo de bacterias coliformes totales (CT) está conformado principalmente por *E. coli* entre otros microorganismos, siendo así un indicador de calidad sanitaria de la composta. Los límites permisibles con respecto a las especificaciones microbiológicas establecidas en la norma son para *E. coli* ≤ 1000 NMP/g en base seca. Se obtuvieron valores favorables en análisis de coliformes totales (CT) en este estudio. Esto es debido a que el inóculo no mostró parámetros por arriba de lo especificado en la norma, a diferencia del estiércol ovino que puede contener hasta 7.68×10^6 NMP/g bs de CT y *E. coli* con base a lo reportado por [Corlay-Chen et al. \(2011\)](#). Los resultados se encuentran por debajo de los valores permisibles. Es importante recordar que esta norma está hecha para composta con estiércol. En este estudio, la composta y la vermicomposta están hechas con inóculo vegetal por lo que contienen inicialmente una cantidad baja de CT y *E. coli*.

Los datos obtenidos fluctuaron entre 9 a 150 NMP/g bs de coliformes totales (CT) y valores entre 4 a 150 NMP/g bs de *E. coli* con el valor más alto en el inóculo vegetal, mientras que los valores de cada tratamiento al que se le introdujeron las lombrices estuvieron entre 4 a 21 NMP/g bs de *E. coli*.

De acuerdo con [Ananthavalli et al. \(2019\)](#), la lombriz roja tiende a dar mejores resultados en sustratos que son inoculados en excretas de animales. De igual manera, como mencionan [Benítez et al. \(1999\)](#) también se utilizan lodos residuales de plantas de tratamiento de agua como sustrato. Sin embargo, el estiércol utilizado como sustrato tiene una alta carga microbiana y un alto contenido de humedad que representa un fuerte potencial de contaminación, por lo que una manera de realizar un saneamiento es mediante el ambiente aerobio²⁵ que se crea en el compostaje y vermicompostaje ([Corlay-Chen et al., 2011](#)), con el fin de evitar fuentes potenciales de infección en los biofertilizantes a base de estiércol especialmente para alimentos para consumo humano directo.

Es importante mencionar que la vermicomposta obtenida a partir del sargazo tiene ventajas que son conferidas por las sustancias bioactivas que contiene esta alga parda, dado que se ha reportado contiene compuestos con actividad antioxidante (fucoxantina, flavonoides y compuestos fenólicos), antimicrobianos (terpenoides), esteroides, vitaminas, fitohormonas y minerales. También contienen poliglúcidos²⁶, ácidos grasos, pigmentos, alcaloides y terpenoides que son antifúngicos, antivirales, antibacterianas y antiprotozoarias ([Amador-Castro et al., 2021](#)).

Por otra parte, se ha reportado toxicidad del sargazo dada su capacidad de absorción de metales y metaloides, entre ellos elementos tóxicos como el arsénico, lo cual limita su aplicación en la industria de alimentos y como fertilizante; por tanto, se ha sugerido el pretratamiento del alga para eliminar estos elementos ([Amador-Castro et al., 2021](#)). Aunque en este trabajo se hace un pretratamiento de lavado, también es importante mencionar que diversos autores han reportado que el vermicompostaje con *Eisenia foetida* permite la eliminación de estos metales; por lo que este tratamiento permitiría tener un biofertilizante ecológico, rico en nutrientes y desintoxicado. Asimismo, el uso del alga parda cuyo crecimiento masivo representa un problema ecológico en la zona del Caribe sería beneficioso para las comunidades aledañas a las costas ([Khan et al., 2019](#); [Sohal et al; 2021](#); [Wang et al., 2017](#)).

Aplicación de vermicomposta en cultivos

Crecimiento de los cultivos

Se realizaron estudios de crecimiento de los cultivos durante 60 días. La albahaca (*O. basilicum* L.) que se cultivó con el tratamiento **LSD** tuvo un crecimiento máximo de 17.4 cm durante 60 días, por lo que

²⁵ Aunque se acepta la palabra anaeróbico en español en esta publicación se prefiere el uso de las palabras aerobio y anaerobio, de las etimologías grecolatinas *aeros* y *bios* y, en el segundo vocablo la alfa privativa del griego [Nota de los(as) editores(as)]

²⁶ Los glúcidos son compuestos derivados de la glucosa y la sacarosa también es un derivado de la glucosa por lo que la palabra correcta es glúcido no sacárido [Nota de los(as) editores(as)]

en promedio la planta creció 0.29 cm/día; mientras que el cultivo con el tratamiento **ST** tuvo un crecimiento de 10.1 cm durante 60 días, creciendo en promedio 0.17 cm/día. El tratamiento **LS** tuvo crecimiento máximo de 6.6 cm (crecimiento promedio de 0.11 cm/día). El parámetro de pH durante el experimento de crecimiento fluctuó entre 6.5-7 durante la primera semana y en la segunda se neutralizó (7.0) durante 60 días. La temperatura ambiente fluctuó entre 25-32°C.

En el cultivo de cilantro (*C. sativum*) en el tratamiento **LSD** se obtuvo un crecimiento de 7.42 cm, por lo que en promedio la planta creció 0.12 cm/día, mientras en el tratamiento **ST** el crecimiento fue de 6.7 cm, en ambos casos durante 60 días, lo que en promedio dio 0.11 cm/día. En el tratamiento **LS** se alcanzaron 5.62 cm en 60 días, dando un crecimiento promedio de 0.09 cm/día. Los parámetros de proceso en el crecimiento del cilantro fueron, un pH promedio diario de 7 y una temperatura en un rango de 25-31.5°C por día. Se obtuvieron resultados favorables en el crecimiento de ambos cultivos (albahaca y cilantro) en presencia de la vermicomposta en sus distintos tratamientos (Figura 3A).



Figura 3. Evaluación de la vermicomposta como biofertilizante. A) *C. sativum* L. (cilantro), B) *O. basilicum* L. (albahaca). Se muestra en ambos cultivos encerrado en un círculo amarillo el cultivo que tiene el biofertilizante (**LSD**)

Por último, en el cultivo de epazote morado (*C. glaucum*) de los 20 ejemplares que germinaron solamente sobrevivió una planta, la del tratamiento **LSD** (Lombriz-Sargazo-Desechos orgánicos). En este caso, se obtuvo un crecimiento promedio por día de 0.015 cm/día. Los parámetros de crecimiento fueron: Un pH promedio de 7 y una temperatura entre 25-30.5°C por día (Figura 3B).

La mortalidad presente en el cultivo de epazote morado podría haberse debido a factores endógenos y/o disturbios exógenos que afectan a las comunidades vegetales produciendo que su floración se vea interrumpida. [Bormann y Likens \(2003\)](#) y [Lugo y Scatena \(1996\)](#) mencionan que la mortalidad en plantas es mayormente generada por factores exógenos (parásitos, agentes patógenos, etc.), así como por las condiciones ambientales que influyen de la misma manera para el desarrollo de las plantas. En este caso la vermicomposta utilizada le permitió sobrevivir a estos factores por lo que sería interesante en una siguiente etapa de la investigación evaluar si este comportamiento está asociado con la presencia de terpenoides en el sargazo.

El uso de la vermicomposta en los cultivos evaluados demostró su efectividad en el crecimiento, lo anterior podría deberse a la presencia de fitohormonas en el sargazo. Por ejemplo, se ha reportado que la aplicación de algas a los suelos mejora el crecimiento y el rendimiento de las plantas, en

específico los extractos de algas pardas como el sargazo refuerzan la tolerancia de las plantas a la salinidad, a la deficiencia de nutrientes, a temperaturas extremas y a la sequía. Contienen fitohormonas como el ácido indol-acético, la citoquinina, el ácido abscísico y las giberelinas que potencian el crecimiento de las plantas (Amador-Castro et al., 2021). Se ha reportado la efectividad de un extracto de sargazo en el crecimiento de otros cultivos como el jitomate²⁷ e incluso en el incremento de compuestos bioactivos como la vitamina C (Kumari et al., 2011). Mukherjee y Patel (2019) mencionan que los extractos de algas marinas son bioestimulantes para la defensa y productividad de las plantas. Las algas marinas promueven el crecimiento de las plantas debido a que contienen poliglúcidos y los polifenoles de alta masa molecular que actúan como bioestimulantes y aleloquímicos que confieren resistencia contra el estrés biótico y abiótico. Los oligocarragenanos derivados de algas pardas inducen la asimilación de nitrógeno y metabolismo basal, la tasa de fotosíntesis, la división celular y la protección contra patógenos.

Estudios recientes demuestran que el ácido abscísico (*ABA* por sus siglas en inglés), las auxinas, las giberelinas (*GA* por sus siglas en inglés), las citoquininas (*CK* por sus siglas en inglés) y los brasinoesteroides (*BR* por sus siglas en inglés) también están implicados en la respuesta de defensa de las plantas y en su desarrollo (Gilroy y Breen, 2022). Estas autoras señalan que, en los últimos años, se ha corroborado que, a medida que surgen más datos que sugieren que la interacción entre las fitohormonas es extensa durante el crecimiento y las respuestas al estrés, se tiene más claro su amplio efecto. Ellas vierten esta información en una tabla donde resumen las contribuciones sobre las fitohormonas ante los desafíos ambientales bióticos y abióticos y señalan que varían significativamente dependiendo de la naturaleza específica de las interacciones entre plantas y patógenos, entre el tipo de tejido y órgano, de la intensidad del estrés y del plazo de respuesta examinados. Estos efectos fueron observados sobre los cultivos evaluados después del tratamiento con vermicomposta, donde se observó un mayor crecimiento y, en el caso del epazote, por la sobrevivencia observada. Todo esto tal vez se deba a la liberación durante la bioconversión de la lombricultura de la biomasa algal de estas fitohormonas. El estudio de estas fitohormonas en el sargazo podría ser una línea de investigación muy importante para realizar a futuro.

CONCLUSIONES

De acuerdo con el objetivo se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- La llegada atípica de sargazo que llega a las costas mexicanas es un fenómeno que surgió por diversas causas, por lo que se prevé que grandes arribazones seguirán surgiendo en las costas del Caribe y sus alrededores. En este trabajo se planteó el objetivo de dar una aplicación al sargazo de una biotransformación produciendo un material que actúa como biofertilizante o biomejorador para el cultivo de plantas comestibles el cual se cumplió con los resultados obtenidos
- Quedan muchas áreas de oportunidad para emplear esta biomasa: La primera es corroborar que los posibles componentes tóxicos del sargazo no pasen a las plantas cultivadas, esto es, que no sean plantas acumuladoras de metales como lo son el propio sargazo, la lechuga, el té (*Camelia sinensis*) y muchas más (Bárcena-Padilla et al., 2011; Panizza-de-León, 2010; Soto-Esquivel, 2022).
- La biomasa de *Sargassum* tiene múltiples aplicaciones potenciales, dado que cuenta con diversos compuestos valiosos, que bien podrían ser aplicados en la industria de la salud utilizando moléculas de fucoïdanos o alginatos para producción de bioplásticos. También, la composición del alga hace que esta sea considerada como alimento. En la agricultura, los factores de crecimiento y los nutrientes de las algas pardas pueden ser beneficiosos, lo que se supondría un mejor rendimiento de los cultivos y

²⁷ El jitomate es una de las más de sesenta variedades de tomates de origen mexicano y es el que es rojo, redondo y grande y con un soporte fuerte al tallo la planta, el ombligo, por lo que de allí viene su nombre según Don Luis Cabrera (2002), de *xictli*=ombligo y *tomatl*=tomate, tomate de ombligo (García-Montiel et al., 2016, 2018) [Nota de los(as) editores(as)]

una mayor calidad nutricional de los alimentos. Sin embargo, la capacidad de biosorción del *Sargassum* hace que se fijen metales pesados, que pueden ser tóxicos, siendo esto una limitante para su uso y que se refleja por el alto contenido de cenizas

- La vermicomposta obtenida a partir de sargazo cumple con los requerimientos de un biofertilizante ecológico, rico en nutrientes, bioestimulador y teóricamente sin compuestos tóxicos, lo que habrá de corroborarse para los tres cultivos evaluados. Por lo tanto, es factible la degradación de *Sargassum sp.* mediante el uso de la lombriz roja (*Eisenia foetida*), debido a las características fisiológicas de la lombriz y su capacidad de adaptación a diversos entornos

- Se considera que el vermicompostaje del sargazo en combinación con un inóculo vegetal es una herramienta útil adaptable para contribuir a la disminución de los impactos ambientales de los arribazones de sargazo en las costas del Caribe mexicano y sus alrededores una vez resueltas todas las áreas de oportunidad mencionadas.

GLOSARIO

Términos y siglas	Significado
ABA (<i>abscisic acid</i> , ácido abscísico), auxinas, giberelinas (GA), citoquininas (CK) y brasinoesteroides (BR)	Sustancias que actúan como hormonas para las plantas: "Históricamente, las fitohormonas se dividen en dos grupos: (a) Promotoras del crecimiento (giberelinas, citoquininas, auxinas, brasinoesteroides y estrigolactonas); (b) relacionados con el estrés/defensa: etileno (ET), ácido salicílico (SA), ácido jasmónico (JA) y ácido abscísico (ABA) [Verma V., Ravindran P., Kumar P.P. 2016. Plant hormone-mediated regulation of stress responses. BMC Plant Biol. 16:1-10. Doi: 10.1186/s12870-016-0771-y]". Tomado de Gilroy y Breen (2022)
bh	Base húmeda
bs	Base seca
C/N relación	Se calcula dividiendo el porcentaje de carbono orgánico entre el porcentaje de nitrógeno para cada una de las muestras
CO	Carbono orgánico medido con el factor de Van Bemmelen (Eyherabide et al., 2014) usando el método de Walkley y Black (1934)
DO	Desechos orgánicos (domiciliarios, de una familia)
IV	Inóculo vegetal (tierra negra de un vivero comercial)
LS	Primer tratamiento: Lombriz-Sargazo. Se utilizaron 10 g de lombrices rojas para la degradación de 100 g de sargazo. Se estableció el uso de 100 g de sargazo en 500 g tierra vegetal
LSD	Segundo tratamiento: Lombriz-Sargazo/Desechos orgánicos. Se utilizaron 10 g de lombrices rojas para la degradación de 100 g de sustrato [50% sargazo-50% desechos orgánicos (cosustrato)]. Se estableció el uso de 100 g de sargazo-desechos orgánicos en 500 g de tierra vegetal
NT	Nitrógeno total medido con un equipo Kjeldhal (NT)
ORP	Siglas en inglés para el potencial de oxidación-reducción (<i>oxidation-reduction potential</i>)
ST	Tercer tratamiento (control): Sargazo-Tierra o inóculo vegetal. Se utilizaron 100 g de sargazo en 500 g tierra vegetal sin presencia de lombrices rojas
Caracteres griegos	
ρ_b	Densidad aparente medida por gravimetría

RECONOCIMIENTOS

La y los autores reconocen al Tecnológico Nacional de México Campus Veracruz, por las facilidades proporcionadas. A los señores Felipe Solís-San-Juan y Miguel Uscanga por la colecta y envío del sargazo en playas de Cancún, Quintana Roo, México, por vía terrestre, a las instalaciones del Instituto Tecnológico de Veracruz (Campus Veracruz del Tecnológico Nacional de México), en el Puerto de Veracruz, México. También reconocen a los evaluadores anónimos (doble ciego) ya que sus comentarios enriquecieron este documento y cualquier error que se encuentre es responsabilidad exclusiva de la autora y los autores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Addico, G., de-Graft-Johnson, K. 2016. Preliminary investigation into the chemical composition of the invasive brown seaweed sargassum along the West Coast of Ghana. *African Journal of Biotechnology*. 15(39):2184-2191. <https://doi.org/10.5897/AJB2015.15177>
- Aguirre-Muñoz, A. 2019. El sargazo en el Caribe mexicano: De la negación y el voluntarismo a la realidad. *Sustentabilidad, Gaceta Digital del Centro Interdisciplinario de Biodiversidad y Ambiente, A.C. CEIBA*. Número 2. CDMX. https://www.conacyt.gob.mx/sargazo/images/pdfs/El_Sargazo_en_el_Caribe_Mexico.pdf
- Amador-Castro, F., García-Cayuela, T., Alper, H.S., Rodríguez-Martínez, V., Carrillo-Nieves, D. 2021. Valorization of pelagic sargassum biomass into sustainable applications: Current trends and challenges. *Journal of Environmental Management*. 283:1-12, 112013. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112013>
- Ananthavalli, R., Ramadas, V., Arockia-John, P.J., Karunai-Selvi, B., Karmegam, N. 2019. Seaweeds as bioresources for vermicompost production using the earthworm, *Perionyx excavatus* (Perrier). *Bioresource Technology*. 275(1):394-401. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.091>
- Bárcena-Padilla, D.A., Bernal-González, M., Panizza-de-León, A., García-Gómez, R.S., Durán-Domínguez-de-Bazúa, C. 2011. Aluminum contents in dry leaves and infusions of commercial black and green tea leaves: Effects of sucrose and ascorbic acid added to infusions. *Natural Resources*. 2(3):141-145 (2011) ISSN Print: 2158-706X, ISSN Online: 2158-7086
- Benítez, E., Nogales, R., Elvira, C., Masciandaro, G., Ceccanti. 1999. Enzyme activities as indicators of the stabilization of sewage sludges composting with *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*. 67(1):297-303. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(98\)00117-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00117-5)
- Bormann, F.H., Likens, G.E. 1979. *Pattern and process in a forested ecosystem*. Springer-Verlag, New York. Disponible en: <http://webpage.pace.edu/dnabirahni/rahnidocs/law802/Chapter%201%20from%20Pattern%20and%20Process%20in%20a%20Forested%20Ecosystem%20.pdf>
- Buchan, A. 2009. *The Atlantic sailor's Handbook*. 2a ed. 175 pp. Adlard Coles Nautical. Londres, Reino Unido.
- Cabrera, L. 2002. *Diccionario de aztequismos*. Luis Cabrera no llegó a conocer la versión final de su Diccionario, que fue puesto en orden y revisado por J. Ignacio Dávila Garibi y que ahora se publica por primera vez. Para tal efecto Luis Reyes García revisó los términos nahuas y Esteban Inciarte los que aparecen en latín. Colofón, S.A. 5a Ed. ISBN 968-867-038-3. Ciudad de México, México
- Corlay-Chen, L., Hernández-Tapia, A., Robledo-Santoyo, E., Gómez-Tovar, L., Maldonado-Torres, R., Cruz-Rodríguez, J.A. 2011. Calidad microbiológica de abonos orgánicos. *Cuadernos de Agroecología*. 6(2):Pi-Pf. ISSN 2236-7934
- Díaz, E. 2002. *Guía de Lombricultura, Lombricultura una alternativa de producción, para emprendedores y productores del agro*. Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior (ADEX). Municipio Capital de la Rioja. <https://biblioteca.org.ar/libros/88761.pdf>
- DOF. 2008. *Diario Oficial de la Federación (Primera Sección)*. Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008 Humus de Lombriz (Lombricomposta)-Especificaciones y Métodos de Prueba. Estados Unidos Mexicanos.
- Durán-Gálvez, 1995. Efecto de la incorporación de lombriz de tierra (*Eisenia foetida* Sav.) y estiércol de bovino en el suelo sobre la producción de materia seca de espinaca (*Spinacia oleracea* L.). Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Agroecología. Chapingo, México. <https://chapingo.orex.es/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=47878>
- Eyherabide, M., Saínez-Rozas, H., Barbieri, P., Echeverría, H.E. 2014. Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Nombre revista*. 32(1):Pi-Pf. <http://www.scielo.org.ar/img/revistas/cds/v32n1/html/v32n1a02.htm>
- Fantonalgo, R., Salubre, J. 2019. Using sargassum sp. and kitchen waste as substrates for 'Vermicast' production. *Waste Management and Resource Efficiency*. 59-69. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7290-1_6
- FAO. 2009. *Guía para la descripción de suelos*. (Proyecto FAO-SWALIM, Nairobi, Kenya-Universidad Mayor de San Simón, Bolivia). 4 ed. Roma, Italia. <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- Fernández, F., Boluda, C., Olivera, J., Bolívar-Gómez, L., Echavarría, E., Mendis-Gómez, A. 2016. Análisis prospectivo de la biomasa algal acumulada en las costas de la República Dominicana durante 2015. *Centro Azúcar*. 44(1):11-22.
- Frederickson, J., Ross-Smith, S. 2004. *Vermicomposting of Precomposted Mixed Fish/Shelfish and Green Waste*. Project Part-Financed by the European Union through the Financial Instruments for Fisheries Guidance. SR566. Open University, The Worm Research Centre. ISBN 0 903941 67 8. United Kingdom.
- Ganapathy-Selvam, G., Balamurugan, M., Thinakaran, T., Sivakumar, K. 2013. Developmental changes in the germination, growth and chlorophyllase activity of *Vigna mungo* L. using seaweed extract of *Ulva reticulata* Forsskal. *Internacional Research Journal of Pharmacy*. 4(1):252-254. ISSN 2230-8407. http://www.irjponline.com/admin/php/uploads/1608_pdf.pdf

- García-Montiel, A.L., García-Gómez, R.S., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2018. Estudio del efecto de biopelículas extraídas de residuos de la industria camaronesa sobre algunas características del jitomate (*Lycopersicon esculentum*) / *Study of some effects of biofilms extracted from residues of the shrimp industry on tomatoes (Lycopersicon esculentum)*. *Industria Alimentaria*. 40(5):18-29 (2018) ISSN 0187-7658
- García-Montiel, A.L., García-Gómez, R.S., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2016. Efecto de la presencia de calcio en la calidad del puré de jitomate (*Lycopersicon esculentum*) elaborado a partir de frutos con recubrimientos naturales / *Effect of the presence of calcium on the quality of tomato (Lycopersicon esculentum) puree made from fruits with natural coatings*. *Ambiens Techné et Scientia México*. 4(1):61-71.
- Gavio, B., Rincón-Díaz, N., Santos-Martínez, A. 2015. Massive quantities of pelagic sargassum on the shores of San Andres Island, Southwestern Caribbean. *Acta Biol. Colomb.* 20(1):239-241. <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v20n1.46109>
- Gilroy, E., Breen, S. 2022. Interplay between phytohormone signalling pathways in plant defence – other than salicylic acid and jasmonic acid. *Essays Biochem.* 66(5): 657-671. doi: 10.1042/EBC20210089
- Guiry, M., Guiry, G. 2020. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland. Galway, Irlanda.
- Khan, M. B., Cui, X., Jilani, G., Lazzat, U., Zehra, A., Hamid, Y., ... & He, Z. 2019. *Eisenia fetida* and biochar synergistically alleviate the heavy metals content during valorization of biosolids via enhancing vermicompost quality. *Science of the Total Environment*, 684, 597-609. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.370>
- Kumari, R., Kaur, I., Bhatnagar, A.K. 2011. Effect of aqueous extract of *Sargassum johnstonii* Setchell & Gardner on growth, yield and quality of *Lycopersicon esculentum* Mill. *Journal of Applied Phycology*. 23:623-633. <https://doi.org/10.1007/s10811-011-9651-x>
- Lapointe, B.E., Brewton, R.A., Herren, L.W., Wang, M., Hu, C., McGillicuddy Jr, D.J., Lindell, S., Hernández, F.J., Morton, P.L. 2021. Nutrient content and stoichiometry of pelagic Sargassum reflects increasing nitrogen availability in the Atlantic Basin. *Nature Communications*. 12(1):1-10, 3060. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23135-7>
- León, C. 2019. El sargazo a escena. *Salud Pública Mex.* 61:701-703. <https://doi.org/10.21149/10870>
- Lugo, A., Scatena, F. 1996. Background and catastrophic tree mortality in tropical moist, wet and rain forests. *Biotropica*. 28(4):585-599.
- Martínez-González, G. 2019. Sargazo: La irrupción atípica de un ecosistema milenario. *Salud Pública Mex.* 61:698-700. <https://doi.org/10.21149/10838>
- Moreira, A., Alfonso, G. 2013. Inusual arribazón de *Sargassum fluitans* Børgesen en la costa centro-sur de Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 32(2):17-20.
- Mukherjee, A., Patel, J.S. 2020. Seaweed extract: Biostimulator of plant defense and plant productivity. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17:553-558. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02442-z>
- Panizza-de-León, A. 2010. Evaluación de la fitoextracción de aluminio en condiciones ácidas. Tesis de Doctorado en Ingeniería. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería (Ingeniería Ambiental, Agua). UNAM. Defensa: Enero 28, 2010. Ciudad de México, México. 132.248.9.195/ptd2010/enero/0653020/Index.html
- Ravera, A.R., De Sanzo, C.A. 1999. Como Criar Lombrices Rojas Californianas, Programa de Autosuficiencia. INCOMPLETA
- Robledo, D., Vázquez-Delfín, E. 2019. Sargazo, conociendo al enemigo. *Avance y Perspectiva [revista-e]*. 5(3). <https://avanceyperspectiva.cinvestav.mx/sargazo-conociendo-al-enemigo/>
- Robles-de-Benito, R. 2019. Sargazo: ¿Situación o problema? De arribazones masivas a las playas de Quintana Roo. *La Jornada Maya*. <https://www.lajornadamaya.mx/2019-06-28/Sargazo----situacion-o-problema-81>
- Rodríguez-Martínez, R., Tussenbroek, B.I., Dahlgren, J.E. 2016. Afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa del Caribe mexicano (2014-2015). *Florecimientos algales nocivos en México [e-revista]*. 1(5):352-365. https://www.researchgate.net/profile/Rosa_Rodriguez-Martinez/publication/317222216_Afluencia_masiva_de_sargazo_pelagico_a_la_costa_del_Caribe_mexicano_2014-2015/links/592c5ec6458515e3d474aac4/Afluencia-masiva-de-sargazo-pelagico-a-la-costa-del-Caribe-mexicano-2014-2015.pdf
- Sembera, J.A., Meier, E.J., Waliczek, T.M. 2018. Composting as an alternative management strategy for sargassum drifts on coastlines. *Hor Technology*. 28(1):80-84. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH03836-17>
- Sohal, B., Singh, S., Singh, S. I. K., Bhat, S. A., Kaur, J., Singh, J., & Vig, A. P. 2021. Comparing the nutrient changes, heavy metals, and genotoxicity assessment before and after vermicomposting of thermal fly ash using *Eisenia fetida*. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 48154-48170. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13726-8>
- Somarriba-Reyes, R.J., Guzmán-Guillén, F. 2004. Guía de lombricultura. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA (UNA). [En línea] Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/2409/1/nf04s693.pdf> [Consultado el 15 de junio de 2020]
- Soto-Esquivel, M.G. 2022. Uso del cadmio como metal tóxico indicador en una empresa minera cooperante. Parte 1. Ejemplo de una prueba sencilla para toxicidad / *Use of cadmium as a toxicity indicator metal in a cooperating mining company. Part 1. Example of a simple toxicity test*. *Revista Ambiens Techné et Scientia México*. 10(2):247-259.
- Spinelli, F., Giovanni, F., Massimo, N., Mattia, S., Guglielmo, C. 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. 82
- Széchy, M.T., Guedes, P.M., Baeta Neves, M.H., Oliveira, E.N. 2012. Verification of *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon (Heterokontophyta: *Phaeophyceae*) from the *Sargasso* Sea off the coast of Brazil, western Atlantic Ocean. *Check List [e-revista]*. 8(4):638-641. <https://doi.org/10.15560/8.4.638>
- Thirumaran, G., Arumugam, M., Arumugam, R., Anantharaman, P. 2009. Effect of seaweed liquid fertilizer on growth and pigment concentration of *Cyamopsis tetragonoloba* (L) Taub. *Am. Eur. J. Agron.* 2(2):50-56.
- Walkley, A., Black, I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38
- Wang, M., Chuanmin, H., Barnes, B.B., Mitchum, G., Lapointe, B., Montoya, J.P. 2019. The great Atlantic Sargassum belt. *Science [e-revista]*. 365(6448):83-87. <https://doi.org/10.1126/science.aaw7912>
- Wang, Y., Han, W., Wang, X., Chen, H., Zhu, F., Wang, X., Lei, C. 2017. Speciation of heavy metals and bacteria in cow dung after vermicomposting by the earthworm, *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*. 245:411-418.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.118>
Zermeño-Gonzalez A., López-Rodríguez, B., Melendres-Alvarez, A.I., Ramírez-Rodríguez, H., Cárdenas-Palomo, J.O., Munguía-López, J.P. 2015. Seaweed extract and its relation to photosynthesis and yield of a grapevine plantation. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Pub. Esp.* 6(12):437-446.