



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL**

**APROVECHAMIENTO AGRONÓMICO DEL SARGAZO, COMO
ALTERNATIVA DE UTILIZACIÓN DEL DESECHO MARINO**

TESIS

Que presenta:

Andrik Jair Chi Mis

Como requisito parcial para obtener el grado de:

INGENIERO EN AGRONOMÍA

Director de tesis:

Dr. Luis Leonardo Pinzón López

Conkal, Yucatán, México

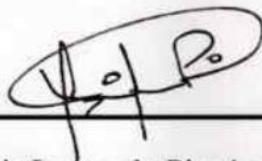
Septiembre, 2025



TecNM

La presente Tesis fue realizada por Andrik Jair Chi Mis, de la carrera de Ingeniería en Agronomía, con especialidad en Horticultura Protegida Sustentable y con número de control 20800168, dirigida y revisada por el jurado que fue asignado en su oportunidad, y que cuyos integrantes firman su consentimiento para que este trabajo sea presentado como requisito parcial para la Titulación de acuerdo con la opción I del manual de procedimientos de Titulación y con bases normativas vigentes.

PRESIDENTE



Dr. Luis Leonardo Pinzón López

SECRETARIO



Dr. Eduardo Villanueva Couoh

VOCAL



M.C. Daniel Eduviges Cituk Chan

Conkal, Yuc. Septiembre 2025

Dedicatorias

A Dios, por préstame salud, sabiduría y siempre mostrarme que sus planes son perfectos.

Mis padres, el sr. Chi Chuc Marco Antonio y Mis Tut Alicia por haberme apoyado en toda la carrera por aconsejarme en los momentos más difíciles, su cariño y quienes me enseñaron a que en esta vida no hay recompensas sin sacrificio que para algunos esto sea duro pero para mí fue mi mayor motivación mis más sinceras gracias papá y mamá.

Mi novia, Matos Tzab Johana Maricruz por estar siempre acompañándome y que si era necesario quedarse hasta tarde con todas las adversidades del día te quedabas a ayudarme te deseo lo mejor en tu futuro.

Mis hermanos, por siempre apoyarme en los momentos más difíciles y darme los mejores consejos.

Mi sobrina, Chi Cetina Grachel Adriely por llegar a nuestras vidas, y compartir los momentos junto a ti leyendo.

A mis tíos, sr. Chi Chuc Juan Alberro y Chi Chuc Javier Francisco quienes me brindaron su apoyo durante toda la carrea y por sus consejos de vida.

A todas esas personas que me abrieron la puerta de sus casas y me hicieron un lugar en su mesa mis más sinceras gracias.

Agradecimientos

Al Instituto Tecnológico de México campus Conkal, por la oportunidad de estudiar y por brindarme las herramientas necesarias para desarrollarme profesionalmente.

Al Dr. Luis Leonardo Pinzón López, por su paciencia, tiempo, atención, apoyo, haber creído en mí en la realización de mi tesis y por enseñarme a ver que los errores no son errores sino experiencias mis más sinceras gracias doctor.

Al Dr. Eduardo Villanueva Couoh, por sus consejos, tiempo y brindarme todo lo necesario para la realización de la presente tesis.

Al M.C. Daniel Eduvigis Cituk Chan, por sus observaciones puntuales y revisión de la tesis.

Al M.C. Pablo Alfonzo Velázquez Madrazo quien me apoyo en los análisis estadísticos y por compartirme sus conocimientos, experiencias sin duda una gran persona.

A ING. Jose Luis Trevino Garza, por sus consejos, experiencias y por asesorarme para la realización de tesis muchas gracias.

Al proyecto “APROVECHAMIENTO AGRONÓMICO DEL SARGAZO, COMO ALTERNATIVA DE UTILIZACIÓN DEL DESECHO MARINO” con clave 20863.24-P, por financiar esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO	página
Dedicatorias	iii
Agradecimientos	iv
Índice de tabla	viii
Índice de figura	ix
Índice de anexo	x
Resumen	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivos específicos	4
III. HIPÓTESIS	5
IV. FUNDAMENTO TEÓRICO	6
4.1 El sargazo	6
4.1.1 Origen e historia.	6
4.1.2 Clasificación taxonómica.	7
4.1.3 Descripción botánica.	7
4.1.4 Impacto y afectaciones.	8
4.1.5 Usos.	9
4.1.6 Factores asociados a la llegada en las costas de la península de Yucatán.	9
4.1.7 Propagación.	10
4.2 Cilantro (<i>Coriandrum sativus</i> L.)	10
4.2.1 Origen e historia.	10
4.2.2 Clasificación taxonómica.	11
4.2.3 Descripción botánica.	12
4.2.4 Uso e importancia.	12
4.2.5 Producción nacional.	13
4.3 Rábano (<i>Raphanus sativus</i> L.)	13
4.3.1 Origen e historia.	13
4.3.2 Clasificación taxonómica.	14
4.3.3 Descripción botánica.	14
4.3.4 Usos e importancia.	15

4.3.5 Producción nacional.	15
4.4 Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	16
4.4.1 Origen e historia.	16
4.4.2 Clasificación taxonómica.	16
4.4.3 Descripción botánica.	16
4.4.4 Uso e importancia.	17
4.4.5 Producción nacional.	17
V. DESARROLLO DEL PROYECTO	18
5.1 Localización	18
5.2 Clima	18
5.3 Comportamiento agronómico de tres hortalizas, cultivadas en tres mezclas de sargazo/suelo k'an kab en dos sitios experimentales	19
5.3.1 Material genético.	19
5.3.2 Procedimiento para la colecta y tratamiento del sargazo.	19
5.4 Siembra y riego en las tres hortalizas cultivadas	21
5.4 Preparación de las mezclas del sustrato por medio de volumen (Tratamientos)	22
5.4.1 Diseño experimental.	22
5.5. Variables de respuesta del experimento	23
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
6.1 Sitio I. Comportamiento agronómico de tres hortalizas, cultivadas en tres mezclas de sargazo/suelo k'an kab	25
6.1.1 Temperatura registrada en el invernadero.	25
6.1.2 Rábano (<i>Raphanus sativus</i> L.).	25
6.1.3 Variables evaluadas para el final del ciclo del cultivo en rábano.	29
6.1.4 Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.).	31
6.1.5 Variables evaluadas para el final del cultivo en lechuga.	32
6.2 Sitio II. Evaluación de tres mezclas de sargazo con suelo común (k'an kab) y un testigo el cual fue (50 % suelo k'an kab + 50 % gallinaza), en dos especies de hortalizas rábano y cilantro	36
6.2.1 Temperatura registrada en el invernadero.	36
6.2.2 Rábano (<i>Raphanus sativus</i> L.).	36
6.4.3 Variables evaluadas al final del ciclo del cultivo rábano (<i>Raphanus sativus</i> L.).	39

6.2.3 Cilantro (<i>Coriandrum sativus</i> L.).	43
6.2.4 Variables evaluadas al final del ciclo del cultivo cilantro (<i>Coriandrum sativus</i> L.).	44
VII. CONCLUSIONES	48
VII. FUENTES DE INFORMACIÓN	49

Índice de tabla

Tabla		Página
1	<i>Producción nacional del cilantro (Coriandrum sativus L.).</i>	13
2	<i>Producción nacional de rábano (Raphanus sativus L.).</i>	15
3	<i>Producción de la lechuga (Lactuca sativa L.).</i>	17
4	<i>Temperaturas registradas en los sitios de estudio.</i>	19
5	<i>Medias finales de las variables fisiológicas estudiadas en rábano (Raphanus sativus L.).</i>	29
6	<i>Medias finales de las variables agronómicas en rábano con sustratos a base de sargazo y suelo k'an kab.</i>	30
7	<i>Contenido de masa fresca y seca de la hortaliza evaluada en sustratos a base de sargazo.</i>	30
8	<i>Medias de las variables finales evaluadas en lechuga.</i>	32
9	<i>Contenido de masa fresca y seca en lechuga cultivada en sustratos a base de sargazo.</i>	33
10	<i>Medias de las variables fisiológicas estudiadas en rábano (Raphanus sativus L.) en el sitio II.</i>	40
11	<i>Medias finales de las variables agronómicas en rábano con sustratos a base de sargazo y un testigo (50 % suelo k'an kab + 50 % gallinaza) en el sitio II.</i>	41
12	<i>Contenido de masa fresca y seca en rábano cultivada en sustratos a base de sargazo.</i>	42
13	<i>Medias de las variables estudiadas en cilantro.</i>	44
14	<i>Contenido de materia fresca y seca en cilantro cultivada en sustratos a base de sargazo.</i>	45

Índice de figura

Figura		Página
1	<i>Dinámica de crecimiento del rábano (<i>Raphanus sativus</i> L.) evaluado 7 semanas.</i>	26
2	<i>Promedio de número de hojas en rábano (<i>Raphanus sativus</i> L.) durante 7 semanas evaluadas.</i>	27
3	<i>Comportamiento agronómico del rábano (<i>Raphanus sativus</i> L.) evaluando su diámetro de tallo.</i>	28
4	<i>Dinámica de crecimiento del cilantro (<i>Coriandrum sativus</i> L.) evaluadas 5 semanas.</i>	35
5	<i>Dinámica de crecimiento del rábano (<i>Raphanus sativus</i> L.) evaluadas 7 semanas.</i>	37
6	<i>Comportamiento del (Diámetro) en rábano (<i>Raphanus sativus</i> L.) evaluadas durante 7 semanas.</i>	38
7	<i>Cobertura foliar de la especie rábano (<i>Raphanus sativus</i> L.) evaluado durante 7 semanas.</i>	39
8	<i>Dinámica de crecimiento del cilantro (<i>Coriandrum sativus</i> L.) evaluadas durante 4 semanas.</i>	43

Índice de anexo

Anexo		Página
1	<i>Temperaturas registradas durante los meses de febrero, marzo y abril en el invernadero tipo “Capilla” del ITC (sitio I).</i>	57
2	<i>Temperaturas registradas en el invernadero tipo “túnel” del ITC durante 10 días en los meses de abril-mayo (sitio II).</i>	57
3	<i>Elementos encontrados en el agua de lavado de sorgazo.</i>	58
4	<i>Elementos encontrados en las mezclas de sorgazo / suelo k'an kab</i>	58
5	<i>Diferencias en rábano entre t₂ (50 % sorgazo + 50 % suelo k'an kab) y el testigo (100 % suelo k'an kab).</i>	59
6	<i>Desarrollo de lechuga en sustrato a base de sorgazo, a t₁ (75 % sorgazo + 25 % suelo k'an kab y b t₃ (25 % sorgazo + 75 % suelo k'an kab).</i>	59

Resumen

La arribazón de macroalgas marinas a las costas del Golfo de México y el Mar Caribe causa problemas a la industria turística y los ecosistemas costeros marinos, por lo que el retiro de esta biomasa no solo representa un reto sino que constituye un problema por su almacenamiento y descomposición; por lo que el objetivo fue estudiar el uso del sargazo en la elaboración de sustratos hortícolas a través del comportamiento agronómico de tres hortalizas: rábano (*Rhapanus sativus* L.), cilantro (*Coriandrum sativum* L.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sustratos a base de algas marinas (sargazo) con diferentes mezclas de suelo k'an kab. Se emplearon 48 macetas, distribuidas en un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos (75 % sargazo + 25 % suelo k'an kab, 50 % sargazo + 50 % suelo k'an kab, 25 % sargazo + 75 % suelo k'an kab y 100 % suelo), el experimento tuvo una duración de 112 días. Las variables evaluadas fueron altura de la planta (cm), número de hojas, unidades SPAD, diámetro de tallo (cm), diámetro la base (mm), diámetro de raíz (cm), longitud de raíz (cm), volumen de raíz (cm³), masa fresca (g) y masa seca (g). Se observó en el sitio I un mayor desarrollo fisiológico y productivo en rábano y lechuga cultivadas en la mezcla 75 % sargazo + 25 % suelo k'an kab y 50 % sargazo + 50 % suelo k'an kab, respectivamente ($P < 0.05$). Respecto al sitio II en el cultivo de cilantro se obtuvo un mejor comportamiento agronómico en la mezcla 25 % sargazo + 75 % suelo k'an kab ($P < 0.05$). Se concluye que el sargazo representa una alternativa para la elaboración de sustratos ya que en este trabajo mejoró las características fisiológicas, agronómicas y productivas de las especies mencionadas

ABSTRACT

The arrival of marine macroalgae on the coasts of the Gulf of Mexico and the Caribbean sea, causes problems in tourism industry and marine coastal ecosystems. Therefore, the removal of this biomass represents a challenge but also constitutes a problem due both storage and decomposition. Therefore, the goal was to study the use of sargassum in the elaboration of horticultural substrates through the agronomic behavior of three horticulture species: radish (*Rhapanus sativus* L.), cilantro (*Coriandrum sativum* L.), and lettuce (*Lactuca sativa* L.) in substrates based on seaweed (sargassum) with different k'an kab soil mixtures. Forty-eight pots were used, distributed in a completely randomized experimental design with four treatments (75% sargassum + 25% k'an kab soil, 50 % sargassum + 50% k'an kab soil, 25 % sargassum + 75 % k'an kab soil and 100% soil), the experiment lasted 112 days. The variables evaluated were plant height (cm), leaves number, SPAD units, stem diameter (cm), base diameter (mm), root diameter (cm), root length (cm), root volume (cm³), fresh and dry mass (g). Greater physiological and productive development was observed at site I in radish and lettuce grown in the mixture 75% sargassum + 25 % k'an kab soil and 50% sargassum + 50 % k'an kab soil, respectively ($P < 0.05$). Compared to site II, cilantro cultivation showed greater agronomic behavior when grown in the mixture 25 % sargassum + 75 % k'an kab, compared to ($P < 0.05$). It is concluded that sargassum represents an alternative for the production of substrates since in this work it improved the physiological, agronomic and productive characteristics of the afore mentioned species.

I. INTRODUCCIÓN

El sargazo es un conjunto de macroalgas marinas, del género *Sargassum* que presentan colores pardos, negros y verdes, tienen diversas texturas (rizadas, laminadas y en estirpe) y pueden ocupar extensas superficies en una gran variedad de hábitats. Algunas especies de sargazo tienen vesículas con gas que les permite mantenerse a flote en el océano y desarrollarse (Caballero *et al.*, 2020).

No obstante, en 2011 a partir del análisis de imágenes satelitales, se observó por primera vez la presencia masiva de sargazo al este de las costas de Brasil, el cual llegó hasta Cuba, Barbados y las Antillas Menores. En 2015, se presentó otra arribazón masiva de forma atípica, la cual tuvo impactos en el Caribe mexicano, lo mismo ocurrió en 2018 y 2019. Esto se debe a los cambios en la química de los océanos como producto de las actividades humanas, por el modelo dominante de producción y consumo de alimentos, bienes y servicios; han provocado un mayor crecimiento del sargazo a tal magnitud que está fuera de control a escala humana (Aldana, 2020).

Las algas marinas han sido observadas por su potencial, al utilizar un extracto líquido en cultivos de frijol con efectos positivos al medir parámetros como: velocidad de crecimiento, largo de las raíces, altura del tallo, tamaño de la hoja y un incremento en el rendimiento. Esto se debe a que le provee elementos como: Fe^+ , Cu^+ , Zn^+ , Mn^+ , N^- , P^+ , K^+ , S^- , Ca^+ y Mg^{2+} ; además de reguladores de crecimiento como giberelinas y auxinas. También biomoléculas como metabolitos, carbohidratos y vitaminas. Esto permite al suelo mejorar sus propiedades químicas, físicas y biológicas (Vijayanand *et al.*, 2014).

Según Gayosso (2018) menciona que el sargazo como sustrato agrícola presenta complicaciones técnicas por su alto contenido de Na^+ , de agua difícilmente disponible y actividad biológica que es inadecuado como sustrato. Sin embargo, Gayosso (2016) comenta que esto puede cambiar ciertas características con la aplicación de lavados con agua corriente cada 15 min en una relación 1:2 v/v, menciona una disminución de CE y el lixiviado de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Cl^- .

Las algas en estado fresco, seco o en harina aplicadas a los suelos, tienen dos funciones principales: 1) como fertilizantes, promueven el crecimiento de las plantas ya que liberan lentamente los nutrientes minerales y orgánicos; 2) como acondicionador del suelo, mejora la aireación adicionando estabilidad (Metting *et al.*, 1990).

Herrera *et al.* (2022), recomiendan 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.

El sargazo, además, absorbe metales y otros elementos, debido a la presencia de alginatos en su pared celular. Un análisis de muestras de sargazo colectadas en 2018 y 2019 a lo largo del Caribe mexicano indicó que éste contiene macronutrientes en concentraciones suficientes para ser utilizados en la industria alimenticia y como fertilizante.

También existe un riesgo de contaminación del acuífero de la Península de Yucatán, debido a las malas prácticas de verter el sargazo en basureros clandestinos, ya que a la fecha no se han adecuado sitios para verter el sargazo y estos estén habilitados con geomembranas en donde se dé tratamiento a los lixiviados. Dado que la Península de Yucatán tiene un suelo

kárstico, existe el riesgo de que los nutrientes y elementos tóxicos del sargazo que es tirado en las selvas, manglares, playas y terrenos baldíos, se infiltren al acuífero y contaminen la única fuente de agua dulce en la región. Además, como el agua del acuífero fluye hacia el mar por medio de ríos subterráneos, una parte de los elementos infiltrados eventualmente llegará al ambiente marino (Rodríguez y Van, 2020). De acuerdo con esta información en la Península de Yucatán el sargazo se está manejando como basura y su disposición final no es el adecuado es por ello que en este trabajo de investigación tiene como objetivo probar mezclas de sargazo en combinación de suelos comunes en la región para ver el efecto que podrían tener, al igual se espera generar información para poder darle un manejo adecuado al sargazo que arriba en las costas de Yucatán y lograr una sustentabilidad en la producción de sustratos hortícolas y poder reducir los costos en la producción de plantas en contenedor.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

2.1.1 Determinar la factibilidad del uso del sargazo, para la elaboración de sustratos hortícolas.

2.2 Objetivos específicos

2.2.1 Evaluar el comportamiento fisiológico y productividad del cilantro (*Coriandrum sativus* L), cultivado en sustratos a base de algas marinas.

2.2.2 Evaluar el comportamiento fisiológico y productividad del rábano (*Raphanus sativus* L), cultivado en sustratos a base de algas marinas.

2.2.3 Evaluar el comportamiento fisiológico y productividad de la lechuga (*Lactuca sativa* L), cultivada en sustratos a base de algas marinas

III. HIPÓTESIS

Un sustrato elaborado con base en la mezcla de sargazo y suelo rojo k'an kab, iguala o incrementa la producción y calidad de rábano, cilantro y lechuga, al ser comparados con otros sustratos para producir cultivos hortícolas.

IV. FUNDAMENTO TEÓRICO

4.1 El sargazo

4.1.1 Origen e historia. A finales del siglo XVI, cuando los reinos de Castilla y Portugal financiaron los audaces proyectos de circunnavegación que viajaban desde los puertos del Atlántico hacia el oeste en busca de las indias Orientales los exploradores encontraron una gran extensión de algas flotantes tan densa y extensa que llegaba a envolver los navíos e incluso a detener su derrotero. Cuando era elevado a cubierta, las especies marinas mostraban pequeñas esferas, dispositivos flotadores que, a juicio de los marineros, eran muy parecidas a una variedad portuguesa de uva llamada salgazo. Merced a un giro metatético de la lengua, esta zona fue llamada desde entonces el Mar de los sargazos (Martínez, 2020).

Aún en nuestros días, el mar de los sargazos se encuentra delimitado por grandes corrientes oceánicas: desde el noreste, la corriente del Golfo de México; desde el sur, las corrientes ecuatoriales; desde el este, la corriente de las Canarias, formando un sistema de aguas superficiales cálidas que giran lentamente sobre las aguas profundas del océano, mucho más frías. Los oceanólogos lo llaman el giro Atlántico, en el sentido de las agujas del reloj (Martínez, 2020).

El sargazo es un alga marina muy importante porque constituye un hábitat para diversas especies y participa en los procesos de conectividad oceánica. En una zona del Atlántico conocida como el mar de los sargazos viven dos especies: *Sargassum fluitans* y *S. natans*. Su

arribo a las costas del Caribe en un fenómeno periódico, registrado desde la década de 1960 (Aldana, 2020).

4.1.2 Clasificación taxonómica.

- Reino: *Chromista*
- División: *Heterokontophyta*
- Clase: *Phaeophyceae*
- Orden: *Fucales*
- Familia: *Sargassaceae*
- Género: *Sargassum*

Fuente: Méndez, 2004

4.1.3 Descripción botánica. Las macroalgas varían en tamaño, desde microscópicas hasta de 50 m, cuyo cuerpo denominado talo se sostiene a partir pies de fijación (Barsanti y Gaultieri, 2014). A pesar de su diversidad, todas las especies comparten características morfológicas y fisiológicas, como por ejemplo fotosintetizar. Este proceso que depende de la coloración de los pigmentos de la macroalga ha permitido agruparlas en tres Divisiones taxonómicas: Chlorophyta (algas verdes), Rhodophyta (algas rojas) y la clase Phaeophyceae (algas cafés o pardas). La manera coloquial de referirse a toda macroalga y pasto marino que llega flotando y llega a la playa, es sargazo pero se acuñó el término sargazo debido a que las especies que constituyen las arribazones de macroalgas pertenecen al género *Sargassum*, C. Agardh, y son de la clase Phaeophyceae (división Ochrophyta) que, aunque es de las más comunes y frecuentes, no es el único componente del sargazo. Sin embargo, fue su nombre genérico el que se usó para nombrarlas de manera coloquial (Ortegón y Ávila, 2020).

El género *Sargassum*, comprende especies de macroalgas de la clase Phaeophyceae (algas pardas), que incluye más de 300 especies tanto bentónicas como holopelágicas (Guiry y Guiry, 2019).

Las especies bentónicas se fijan a un sustrato durante toda su vida, mientras que las holopelágicas se pueden agregar para formar extensas masas flotantes en la superficie del mar (en ocasiones denominadas tapetes o parches). Este es el caso del sargazo que arriba a las costas del Caribe Mexicano. El Mar de los Sargazos, en el Océano Atlántico Norte, está reconocido como el lugar de mayor abundancia de sargazo pelágico (Franks *et al.*, 2016).

4.1.4 Impacto y afectaciones. La afluencia masiva del sargazo pelágico en las costas del Mar Caribe ha provocado daños ambientales, económicos y sociales importantes. Por ejemplo, se ha reportado el impacto negativo en la anidación de tortugas marinas, así como en la estructura y abundancia de las comunidades bénticas (pastos marinos y arrecifes coralinos) como resultado de las condiciones de baja disponibilidad de oxígeno y baja luminosidad que traen consigo los grandes volúmenes flotantes de sargazo (Torres y Martínez 2020). También, la descomposición del sargazo genera enormes cantidades de compuestos inorgánicos (nitratos, fosfatos y metales pesados) que pueden introducirse por lixiviación en el ecosistema costero o en los acuíferos cercanos, promoviendo su contaminación (López *et al.*, 2021).

Los arribazones de sargazo han provocado pérdidas económicas significativas en varios países del Caribe, donde el turismo de sol y playa es una fuente de ingresos primarios, debido a que impiden el acceso al área de baño y reducen la belleza del paisaje (Ortegón y Ávila, 2020).

Desde el punto de vista social, la descomposición del sargazo libera gases de ácido sulfhídrico (H_2S) y de metano (CH_4) que afecta la calidad del aire y la salud humana (García *et al.*, 2020).

Dada la composición química del sargazo, durante este proceso se libera azufre, el cual, por una reacción exotérmica en el agua, produce ácido sulfhídrico que es liberado tanto en el agua como en la atmósfera. Los efectos inmediatos en la zona de descomposición incluyen el aumento de la temperatura, el agotamiento del oxígeno, el descenso del potencial de hidrógeno (pH), la disminución del potencial de reducción en agua y la liberación de nutrientes hacia las lagunas arrecifales, con el consiguiente cambio drástico de color del agua de transparente a marrón, así como el grave impacto a la estructura y función de la biota marina (Van Tussenbroek *et al.*, 2017).

4.1.5 Usos. La importancia ecológica de estas algas se debe a que forman un hábitat esencial para diversos peces e invertebrados, siendo muy importante para larvas y juveniles de diversas especies, dado que les provee refugio, alimento y sombra (Farrel *et al.*, 2014; Huffard *et al.*, 2014). Hay que mencionar también que el sargazo favorece la conectividad en el sistema marino, aunque también puede ser un vector de especies no-nativas. En años recientes se ha presentado el arribo masivo de estas macroalgas holopelágicas en las costas del Mar Caribe Mexicano, siendo dos especies las que están asociadas a este fenómeno: *Sargassum natans* y *S. fluitans*, las cuales han ocasionado problemas ambientales relacionados con el sector turístico, económico y de salud (Van Tussenbroek *et al.*, 2017).

4.1.6 Factores asociados a la llegada en las costas de la península de Yucatán. Las arribaciones masivas de sargazo parecen deberse a una combinación de procesos que incluyen la eutrofización por la contaminación humana y los cambios en las condiciones oceánicas. La

eutrofización se da, principalmente por derrames del río Amazonas y África occidental, que proporciona un enriquecimiento de nutrientes para el sargazo, lo que le permite prosperar más de lo que lo haría en una condición de bajos nutrientes. Los cambios en las condiciones oceanográficas, como los cambios de temperatura en el océano, mejoran aún más las condiciones para que el sargazo florezca en el Mar Caribe (Brooks *et al.*, 2019).

En un principio, se pensó que los arribazones masivos a estas costas provenían del mar de los Sargazos; sin embargo, el análisis de imágenes de satélite recientemente ha demostrado la presencia de un Gran Cinturón de Sargazo del Atlántico, que se extiende desde la costa oeste de África hasta el Golfo de México. En julio de 2018, este Gran Cinturón de Sargazo del Atlántico alcanzó su máximo tamaño al extenderse por más de 8850 km; se llegó a estimar que la biomasa total era mayor a 20 millones de toneladas (Rodríguez y Van, 2020).

4.1.7 Propagación. Además, se reproducen de manera asexual por fragmentación del talo, lo cual permite incrementar rápidamente su biomasa (9-20 días) bajo condiciones adecuadas de disponibilidad de nutrientes, pH, salinidad y temperatura (Hanisak y Samuel 1987).

4.2 Cilantro (*Coriandrum sativus* L.)

4.2.1 Origen e historia. El cilantro es una especie originaria de Europa Meridional, y Norte de África, es decir, su ubicación se sitúa en el centro y sur de Rusia y en el centro y norte de la india. Algunos informes científicos indican que fueron diversificados los tipos de cilantro cultivados en las regiones del Medio Oriente y Asia (Cerezo, 2015).

El cilantro fue de gran importancia para la cultura egipcia, por lo que se extendió hasta la región del sur Mediterráneo. Luego, por medio de los mercantes que distribuían las plantas

exóticas traídas del Lejano Oriente y el norte de África hacia los Países europeos, el cultivo se extendió específicamente a España, Portugal, Italia y Francia (Valdivienzo, 2011).

Para llegar al continente americano, en el siglo XV los españoles y portugueses se encargaron de lograr su esparcimiento por medio de sus viajes donde buscaban su conquista y colonización. Se determinaron centros de repartición: Centroamericano y Cono sur promovidos por los portugueses y la región Norte de sur América hasta Perú por los españoles (Valdivienzo, 2011).

Estados Unidos fue el primer país de América donde se cultivó el cilantro, siendo la primera producción obtenida en dicho país, el nombre “cilantro” proviene del latín *Coriandrum*, de la cual se deriva de la palabra griega *koris* que significa insecto con olor característico, por eso se pensaba que esta planta percibía a un insecto.

4.2.2 Clasificación taxonómica.

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida (= Dicotyledoneae)
- Orden: Apiales
- Familia: Apiaceae
- Género: *Coriandrum*
- Especie: *sativum*

Fuente: Fundación Charles Darwin, (2010).

<https://datazone.darwinfoundation.org/es/checklist/?species=804>

4.2.3 Descripción botánica. Es una planta anual, herbácea, de 40 a 60 cm de altura, de tallos erectos, lisos y cilíndricos, ramificados en la parte superior. Las hojas inferiores son pecioladas, pinnadas, con segmentos ovales en forma de cuña; mientras que las superiores son bi-tripinnadas, con segmentos agudos. Las flores son pequeñas, blancas o ligeramente rosadas, dispuestas en umbelas terminales. Los frutos son diaquenios, globosos, con diez costillas primarias longitudinales y ocho secundarias, constituidas por mericarpios fuertemente unidos, de color amarillo-marrón. Tienen un olor suave y agradable y un sabor fuerte y picante. Contiene dos semillas, una por cada aquenio. Las raíces son delgadas y muy ramificadas (SAGPyA, 2010).

4.2.4 Uso e importancia. La hierba del cilantro se encuentra en la categoría de las plantas medicinales por su olor y condimento que tienen relación semejante al perejil. En algunos países en desarrollo estas especies se cultivan en pequeña escala a nivel doméstico, sin embargo, son un buen mercado para producirlas a grandes extensiones (Bhat *et al.*, 2014).

Del cilantro se benefician las hojas y por otro lado, las semillas presentadas en granos o molidas, ya que contienen propiedades antisépticas, poseen alrededor de 20% de aceites esenciales que ayudan a actuar en el sistema digestivo de los seres humanos facilitando la digestión y aliviando es estreñimiento (Laribi *et al.*, 2015).

4.2.5 Producción nacional.

Tabla 1

Producción nacional del cilantro (Coriandrum sativus L.).

Entidad	Rendimiento en t ha ⁻¹
Puebla	54,043.81
Baja California	24,844.05
Aguascalientes	10,861.90
Sonora	5,254.65
Zacatecas	4,280.64
Tlaxcala	3,807.11
Guanajuato	2,879.49
San Luis Potosí	2,317.40
Michoacán	1,424.55
Yucatán	452.80
TOTAL: 117,802.82	

Fuente: SEDARH, 2023

4.3 Rábano (*Raphanus sativus* L.)

4.3.1 Origen e historia. El rábano tiene como punto de origen a China, aunque esto no es definido ya que no se ha determinado de forma concluyente; sin embargo, se reconoce que los egipcios y los babilonios ya lo consumían hace más de cuatro mil años; su llegada fue alrededor del año 400 a.C., cuando empezó a consumirse en China y Corea (Carrera, 2019).

La importancia de este círculo de hortalizas emparentadas radica en que incorporan compuestos azufrados, considerados eficaces antioxidantes que ayudan a prevenir enfermedades; se considera que existen seis especies de rábano, pero se cultiva sobre todo la que recibe el nombre de *R. sativus* (Cáceres 2019).

4.3.2 Clasificación taxonómica.

- **Reino:** Plantae
- **División:** Magnoliophyta
- **Clase:** Magnoliopsida
- **Orden:** Brassicales
- **Familia:** Brassicaceae
- **Género:** *Raphanus*
- **Especie:** *R. sativus*

Fuente: Cáceres, 2019

4.3.3 Descripción botánica. Los rábanos son plantas herbáceas, anuales o bienales, cultivadas como anuales, alógamas de autoincompatibilidad variable. Raíz pivotante, desde periférica hasta napiforme, gruesa y carnosa, de carne blanca tallos erectos, fistulosos, de hasta 1,5 m de altura. Hojas basales en roseta de 5-30 cm de longitud, lirado, pinnatisectas, con lóbulos desiguales e irregularmente dentados Hojas caulinares menos lobuladas y dentadas, de 25-40 x 10-15 cm, con peciolo más cortos que los de las hojas basales. Flores con pedicelos de 7-0 mm, en racimos axilares y terminales. Sépalos oblongo-lineares, de 6-10 mm de longitud. Corola de 1,5-1,7 cm de diámetro. Pétalos verdosos o violáceos, rara vez blancos de 0,8-2 cm de longitud. Estambres 6. Artejo inferior de la silicua con 1-2 semillas y artejo superior, de 2-7 cm de longitud y con 12-14 semillas redondeadas, de 2-4 mm de color castaño claro y con la testa finamente reticulada. $2n = 18$. Se cultiva por sus raíces que se comen en ensalada o en encurtidos, existiendo también cultivares de raíz forrajera y de cuyas semillas puede extraerse un aceite comestible y combustible (Agroes, 2015).

4.3.4 Usos e importancia. Generalmente el rábano se consume crudo, solo o en ensalada, bocadillos y otras preparaciones, puede hervirse para suavizar su sabor. Las hojas del rábano se consumen cocinadas de forma similar a las de espinaca, y también en infusiones y guisos. En cuanto a sus usos medicinales el consumo de rábano en crudo se emplea para tratar deficiencias de vitamina C, urticarias y artritis; el caldo de su cocimiento es un excelente auxiliar en enfermedades respiratorias y desordenes gástricos. Asimismo, las propiedades colagogas y coleréticas del rábano lo hace un alimento adecuado para la salud del hígado, así como en aquellos casos de insuficiencia hepática e ictericia. Esta hortaliza resulta un alimento muy digerible, se recomienda masticarlo muy bien, en general su sabor resulta algo picante, pero si lo dejamos enfriar dentro del refrigerador, su sabor se suaviza considerablemente (SADER, 2018).

4.3.5 Producción nacional.

Tabla 2
Producción nacional de rábano (Raphanus sativus L.).

Entidad	Rendimiento en t ha ⁻¹
Puebla	28,846.72
Baja California	12,002.42
Jalisco	7,766.26
Sonora	2,298.80
Veracruz	1,255.11
Yucatán	583.55
Morelos	518.70
San Luis Potosí	402.80
Ciudad de México	391.00
Guerrero	380.98
Total: 55,890.14	

Fuente: SEDARH, 2023

4.4 Lechuga (*Lactuca sativa* L.)

4.4.1 Origen e historia. La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una planta que, al parecer, tiene sus orígenes en el sur de Europa y se expandió al resto del continente durante la época romana. Por lo tanto, se consumía hace ya 2000 años y también era utilizada como planta medicinal en Egipto, Roma, Persia y otros lugares. Existen referencias escritas sobre las variedades de lechuga que utilizaban los romanos, y en Egipto se pueden encontrar grabados de esta hortaliza en algunos sepulcros del 4,500 a.c. (Karabeleko, 2025).

4.4.2 Clasificación taxonómica.

- **Reino:** Plantae
- **División:** Magnoliophyta
- **Clase:** Magnoliopsida
- **Orden:** Asterales
- **Familia:** Asteraceae
- **Género:** *Lactuca* L., 1753
- **Especie:** *Sativa* L., 1753

Fuente: Hanan y Mondragón, 2009

4.4.3 Descripción botánica. La lechuga son plantas anuales o bienales, autógamas, de porte erecto y hasta 1 m de altura, lampiñas y con tallos ramificados. Hojas basales arrosetadas, a veces arrepolladas, obovadas y dentado-crenadas. Hojas caulinares sésiles, abrazadoras, aovadas u orbiculares y de base amplexicaule. Capítulos en panículas o corimbos. Flores amarillas y

todas licuadas. Invólucro de brácteas escamosas, sagitadas, lanceoladas y de 10-15 mm. Estambres 5. Aquenios obovados, comprimidos, de 6-8 mm de longitud, con 5-9 pares de costillas, pico de 6-8 mm, no alados y con vilano de 2 filas de pelos blancos y simples. $2n = 18$, 36 (Agroes, 2018).

4.4.4 Uso e importancia. Hoy en día se consume en todo el mundo y es la verdura de hoja más extendida del planeta. Tiene un alto valor nutritivo por su riqueza en vitamina C, sales minerales de rápida absorción y elementos como el hierro. Esta verdura protagonista de tantas ensaladas es también conocida por sus propiedades relajantes (Karabeleko, 2025).

4.4.5 Producción nacional.

Tabla 3

Producción de la lechuga (Lactuca sativa L.).

Estado	Rendimiento en t ha ⁻¹
Guanajuato	151,245.44
Zacatecas	100,410.06
Puebla	75,052.49
Aguascalientes	66,572.00
Sonora	34,640.59
Baja California	33,311.85
Sinaloa	77.28
Nayarit	69.76
Yucatán	36.45
Chihuahua	29.00
TOTAL: 552,940.26	

Fuente: SEDARH, 2023

V. DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 Localización

El presente proyecto se realizó en dos sitios experimentales: un invernadero tipo túnel de 40 x 10 x 3.8 y en otro tipo capilla 20 x 5 x 2 del Instituto Tecnológico de Conkal, ubicado en Conkal, 21° 06' latitud Norte y 89° 31' longitud Oeste y con una altitud de 10 msnm. En el municipio de Conkal colinda al norte con Chicxulub Pueblo, al sur con Mérida y Tixkokob y al oeste con Mérida.

5.2 Clima

El clima de Mérida y en general de la Península de Yucatán es caliente y húmedo con lluvias durante el verano. La temperatura media anual es de 26° C. Abril y mayo son considerados los meses más cálidos en los que se llega a alcanzar los 40° C. En Yucatán, la temporada de lluvia comprende el periodo de junio a octubre y la temporada de huracanes se extiende de junio a noviembre (INEGI, 2016).

Con la ayuda de un data logger de la marca HOBO® modelo: onset U12-012 se registraron las temperaturas de ambos sitios como se muestra en la tabla 4, en el sitio 1, la temperatura tuvo un máximo de 46 ° C y un mínimo de 18 ° C (Anexo 1), en el sitio 2, la temperatura tuvo un máximo de 42 ° C y un mínimo de 21 ° C (Anexo 2).

Tabla 4

Temperaturas registradas en los sitios de estudio.

Temperatura ° C	Sitio 1	Sitio 2
Máximo	46	42
Media	36-27	35-32
Mínima	18	21

5.3 Comportamiento agronómico de tres hortalizas, cultivadas en tres mezclas de sorgo/suelo k'an kab en dos sitios experimentales

5.3.1 Material genético.

- Rábano (*Raphanus sativus* L.), variedad: crunchy king de Sakata ® Seed America, inc. USA.
- Lechuga (*Lactuca sativa* L.), variedad: black simpson de ks king seeds. USA.
- Cilantro (*Coriandrum sativus* L.), Variedad: local.

5.3.2 Procedimiento para la colecta y tratamiento del sorgo.

a) Recolección del sorgo.

La obtención del sorgo se realizó en la costas del puerto Progreso, Yucalpetén, Yucatán la biomasa se recolectó en bolsas negras aproximadamente con un peso de 40 kg ya que el material recolectado estaba húmedo y no contaba con ningún tratamiento previo a su recolección, se trasporto hasta las instalaciones de Instituto Tecnológico campus Conkal.

b) Lavado del sorgo.

Se realizaron tres lavados al sargazo con un volumen de 100 L de agua corriente / 75 L de sargazo en tambores plásticos de 200 L, el primer lavado consiste en separar la biomasa de la arena por medio de densidad ya que por su peso la arena tiende a quedarse al fondo y el sargazo arriba, posteriormente se realizó el segundo y tercer lavado con los mismos v/v tratando de precipitar y mezclar a manera de lo posible. Tomando en cuenta que Nkemka y Murto (2010) mencionan que el *sargassum* tiene presencia de múltiples componentes, como sulfatos, cloruros de sodio y metales pesados. Al igual se cuantifico la conductividad eléctrica (CE) antes de los lavados el cual fue de: 6.12 mS, tomando en cuenta que el valor fue superior a lo recomendado para estas especies se optó por medir los parámetros al final de los tres lavados en el cual se observó una disminución y se logró llegar a: 1.12 mS estos parámetros fueron evaluados con la ayuda de un potenciómetro de la marca HANNA® (Mod. HI 9613-6), cabe mencionar que el agua utilizada en los dos últimos procesos no fue desechado ya que se supone que puede ser aprovechado en la agricultura como fuente de biofertilizante (Anexo 3).

c) Filtrado, secado y triturado del sargazo en el sitio I

Al concluir con los tres lavados se dejó filtrar para drenar el exceso de agua en el sargazo por 24 horas posteriormente se llevó a una estufa de secado y se dejó secando por 72 horas con una temperatura de 80⁰ C, esto facilitó la trituración del sargazo ya que en el estado seco se fragmentaban con facilidad para obtener un tamaño de partícula adecuado para generar nuestras mezclas con una granulometría de 4.76 mm.

d) Esterilización en el sitio I

Todos los tratamientos fueron esterilizados a 121° C (1,05 Kg cm²) por 40 min. Con una autoclave de la marca Felisa®.

e) Filtrado y secado para el sitio II

Al concluir con los tres lavados se dejó filtra para drenar el exceso de agua en el sargazo por 96 horas expuestas al sol directo, debido a sus características se optó por no triturar la biomasa y ser utilizada tal cual fue recolectada.

5.4 Siembra y riego en las tres hortalizas cultivadas

a) siembra y riego en el sitio I

La siembra se realizó en las macetas en el caso de rábano dos semillas por cavidad perforada esto con el objetivo de tener homogeneidad en el momento de emergencia respecto a las plantas emergidas excedentes se optó por designar la planta mayor vigor dejando un total de seis plantas por repetición, se realizó el mismo procedimiento para lechuga con la diferencia que por repetición solamente se designaron 3 plantas y para el caso de cilantro respecto a su composición taxonómica del fruto no se pudo cuantificar el número de semillas pero se estimó pesando los gramos sembrados los cuales fueron $5\text{ g} = 264$.

El riego se realizó con una probeta para saturar el sustrato con agua hasta capacidad de campo esto con la intención de conocer la capacidad de retención y conocer el volumen de saturación de cada tratamiento este procedimiento se realizó con la ayuda de una probeta de 500 ml para tener un dato de inicio con la intención de tener un riego eficiente. El riego se realizó cada segundo día, a razón de los datos de saturación.

b) siembra y riego en el sitio II

La siembra se realizó en las macetas en el caso de rábano dos semillas por cavidad perforada esto con el objetivo de tener homogeneidad en el momento de emergencia respecto a las plantas

emergidas excedentes se optó por designar la planta con mayor ápice de crecimiento dejando un total de seis plantas por repetición, se realizó el mismo procedimiento para cilantro respecto a su composición taxonómica del fruto no se pudo cuantificar el número de semillas pero se estimó pesando los gramos sembrados los cuales fueron 5 g.

5.4 Preparación de las mezclas del sustrato por medio de volumen (Tratamientos)

Las mezclas se realizaron proporcionalmente volumen/volumen (v/v) sargazo/suelo: el tratamiento 1 (T₁); 75/25, el tratamiento 2 (T₂); 50 /50, el tratamiento 3 (T₃) 25 /75 y un testigo (T₄) 100 % suelo k'an kab para el sitio 1; para el sitio 2 los tratamientos fueron los mismos sin embargo, el testigo (T₄) fue un sustrato elaborado de 50 % suelo k'an kab + 50 % gallinaza, el volumen se estimó por litros.

5.4.1 Diseño experimental. En ambos sitios se utilizó un diseño experimental completamente al azar, tres mezclas de sargazo/suelo k'an kab (25-75 %, 50-50 % y 75-25 %) y un testigo el cual fue 100 % suelo k'an kab en el sitio 1 y en el sitio 2 el testigo fue un sustrato elaborado de 50 % suelo k'an kab + 50 % gallinaza; siendo el modelo tres hortalizas de ciclo corto las cuales fueron (Rábano, cilantro y lechuga). Cada tratamiento fue representado con 4 repeticiones, siendo la unidad experimental macetas con las siguientes dimensiones 75.00 x 16.00 x 15 cm respectivamente con un volumen de 12 litros por maceta. Todos los tratamientos fueron fertilizados complementariamente con POLY-FEED (19-19-19), cabe mencionar que solamente fue complementada en dos ocasiones con dicho producto y la concentración fue de 2.5 g L⁻¹. Los datos obtenidos fueron evaluados mediante un análisis de medidas repetidas y una comparación de medias de Tukey $P \leq 0.05$ con el programa estadístico SAS.

5.5. Variables de respuesta del experimento

- a. **Altura de la planta:** Se midió con una regla graduada desde la base del tallo de la planta hasta el ápice de la misma, esta actividad se realizó cada 8 días hasta el momento de cosecha de la vara floral.
- b. **Diámetro del tallo:** Se midió con un vernier digital de la marca TRUPER®, Modelo: CALDI-6MP desde la base del tallo de la planta, esta actividad se realizó cada 8 días hasta el momento de la cosecha.
- c. **Número de hojas:** Se realizó el conteo de número de hojas cada 8 días.
- d. **Unidades SPAD:** Esto se realizó con la ayuda del SPAD 505 plus de la marca Konica Minolta cada 8 días, esto con la intención de encontrar diferencias entre tratamientos.
- e. **Conductividad eléctrica:** se determinó con potenciómetro de la marca Hanna Mod. HI 9613-6.
- f. **Peso fresco:** Se efectuó el pesaje del tallo, raíces y hojas de cada especie empleando una balanza analítica digital (OHAUS® Explorer Pro), la raíz y hojas se envolvieron por separado en sobres de papel estraza, a los cuales se le hicieron cortes a lo largo del papel para poder introducirlos a la estufa de secado (BINDER).
- g. **Área foliar:** Para la variable de área foliar esta se cuantifico en el laboratorio de biotecnología y fisiología vegetal con AREA METER mod. LI-3100C.
- h. **Volumen de raíz:** Se realizó en el laboratorio de fisiología y biotecnología del ITC, siguiendo el principio de Arquímedes es un principio físico que afirma que un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo, recibe un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen del fluido que desaloja. Esto con la ayuda de una probeta de 100 ml, para poder sumergir nuestras raíces y obtener el valor del desplazamiento en cm^3 .

- i. **Peso seco:** Se colocaron las muestras en una estufa de secado (BINDER) durante 72 horas con una temperatura de 70°C, posteriormente se pesaron en una balanza analítica digital (OHAUS® Explorer Pro). Se realizó el pesaje con ese modelo de báscula ya que en algunos órganos de la planta su peso fue menor a un gramo.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Sitio I. Comportamiento agronómico de tres hortalizas, cultivadas en tres mezclas de sorgo/suelo k'an kab

6.1.1 Temperatura registrada en el invernadero. Se registraron las temperaturas con la ayuda de un data logger de la marca HOBO® modelo onset U12-012., la cual nos proporcionó información cada hora durante las 24 horas, (Anexo 1) solo se representan las temperaturas promedio de 7 am a 7 pm durante el periodo del experimento ubicado en el invernadero tipo “Capilla” en el Instituto Tecnológico campus Conkal.

En el sitio I, se registraron las temperaturas desde la semana 1 a la 9 en las cuales se determinaron las temperaturas promedio, máximas y mínimas, debido a que las temperaturas dentro del sitio de estudio (invernadero) son diferentes a las del ambiente. Las máximas superaron los 46 °C entre las 2 a 4 pm, lo cual para las especies cultivadas estas temperaturas resultan inadecuadas; esto sugiere que en futuros experimentos se lleve a cabo en diferentes lugares o que se consideren las especies a cultivar.

6.1.2 Rábano (*Raphanus sativus* L.).

Altura de planta

Los resultados obtenidos en la variable altura de la planta, se encontró diferencia estadística significativa entre los tratamientos como se muestra en la figura 1, sin embargo se, encontró que del día 1 hasta el 15 el crecimiento fue estadísticamente igual en los tratamientos, lo cual si se toma en cuenta el anexo 1 se puede observar que las primera semana las temperaturas promedios no superan los 31 °C lo cual podría indicar que las características físicas

de los tratamientos de alguna manera inhiben o disipan la temperatura en el sustrato a diferencia del testigo. Según Aitken y Senn (1965) mencionan que las algas al descomponerse, se hunden en el suelo y fomentan la multiplicación de las bacterias propias del mismo. Esta acción acondicionadora del suelo mejora la estructura haciéndolo más particulado y estable y por lo tanto favorece la capacidad del suelo de retener agua. De acuerdo a Wahid *et al.* (2007) mencionan que las temperaturas altas, transitorias o constantes, provocan diversos cambios morfoanatomicos, fisiológicos y bioquímicos en las plantas, que afectan su crecimiento y desarrollo.

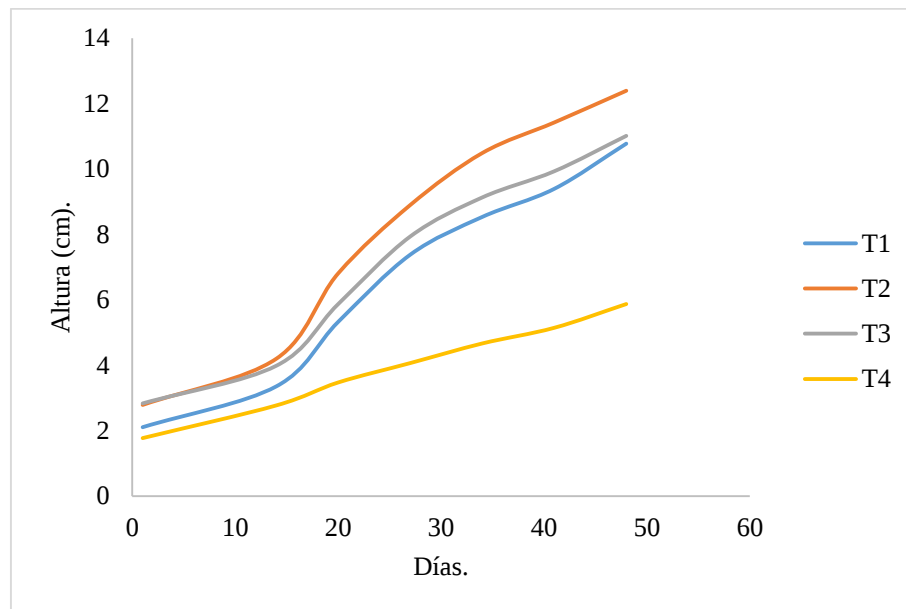


Figura 1. Dinámica de crecimiento del rábano (*Raphanus sativus* L.) evaluado 7 semanas.

T_1 : 75 % sargazo 25 % suelo, T_2 50 % sargazo 50 % suelo, T_3 25 % suelo 75 % suelo y T_4 siendo el testigo 100 % suelo k'an kab.

Hojas.

En la variable número de hojas, se encontró diferencias estadísticas significativa entre los tratamientos, siendo las plantas de los T₁, T₂ y T₃ las que tuvieron mayor número de hojas como se muestra en la figura 2 estos resultados coinciden con Metting *et al.* (1990) la respuesta de las algas pueden ser múltiples y variadas en las cuales están el tamaño de las hojas. Esto indica que aumenta la actividad fotosintética de las plantas cultivadas en mezclas de sargazo/suelo k'an kab.

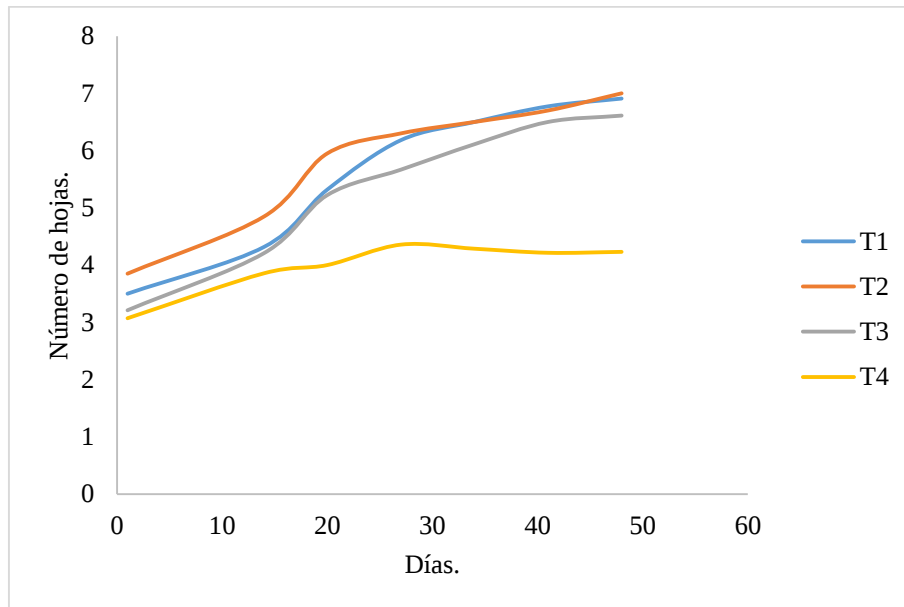


Figura 2. Promedio de número de hojas en rábano (*Raphanus sativus* L.) durante 7 semanas evaluadas.

T₁: 75 % sargazo 25 % suelo, T₂ 50 % sargazo 50 % suelo, T₃ 25 % suelo 75 % suelo y T₄ siendo el testigo 100 % suelo k'an kab.

Diámetro del tallo

Respecto al variable diámetro de tallo, se encontró diferencia estadística significativa entre los tratamientos, siendo el t_2 con mayor diámetro de tallo como se muestra en la figura 3 en la cual se observa que todos los tratamientos en combinación con sargazo son superiores al testigo de acuerdo con Sunarpi *et al.* (2020) menciona que el extracto solido de algas provee elementos esenciales como: N^- , P^+ , K^+ , Ca^+ , Fe^+ y Mn^+ . Debido a esto es la razón por la cual los extractos mejoran el crecimiento y producción de plantas de manera significativa. Lo cual coinciden con los resultados en esta investigación las mezclas del sargazo/ suelo k'an kab en los tratamientos presentan mejores resultados respecto al testigo.

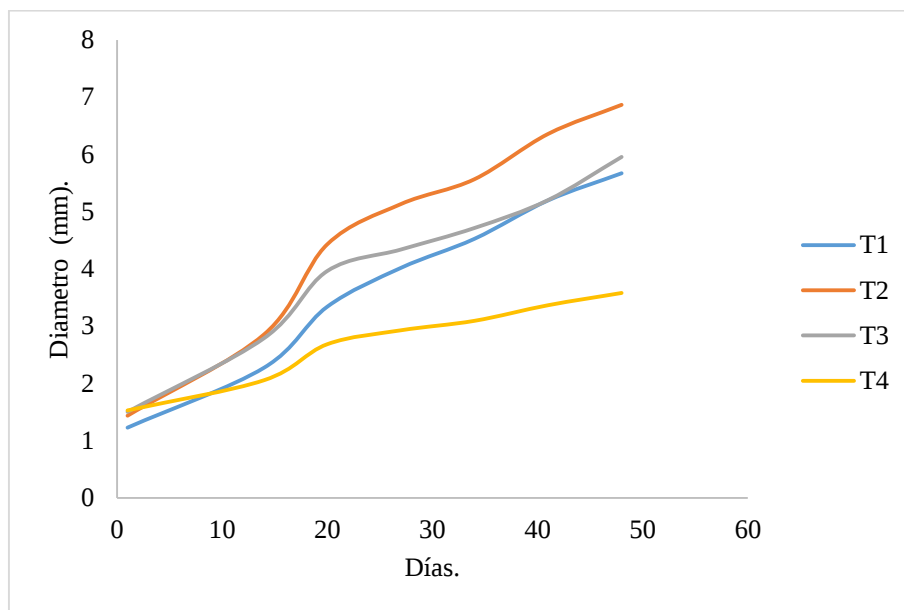


Figura 3. Comportamiento agronómico del rábano (*Raphanus sativus* L.) evaluando su diámetro de tallo.

T_1 : 75 % sargazo 25 % suelo, T_2 50 % sargazo 50 % suelo, T_3 25 % sargazo 75 % suelo y T_4 siendo el testigo 100 % suelo k'an kab.

Tabla 5

Medias finales de las variables fisiológicas estudiadas en rábano (Raphanus sativus L.).

Tratamiento	Altura (cm)	Número de Hojas	Diámetro de Tallo (mm)	Unidades SPAD	Área foliar (cm ²)
T ₁	6.69±0.15 c	5.36±0.09 b	3.75±0.08 c	39.10±0.56 a	75.78±13.6 ab
T ₂	8.14±0.16 a	5.87±0.09 a	4.66±0.09 a	39.28±0.59 a	111.67±13.4 a
T ₃	7.24±0.16 b	5.64±0.09 a	4.07±0.09 b	39.16±0.62 a	54.78±14.70 bc
T _{testigo}	3.96±0.19 d	4.00±0.11 c	2.75±0.10 d	37.48±0.71 a	13.35±20.78 cd

Literales diferentes en una columna indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

T₁: 75 % sargazo 25 % suelo k'an kab, T₂ 50 % sargazo 50 % suelo k'an kab, T₃ 25 % sargazo 75 % suelo k'an kab y T₄ siendo el testigo 100 % suelo k'an kab.

6.1.3 Variables evaluadas para el final del ciclo del cultivo en rábano. Para las variables finales se consideró: área foliar (ÁF), longitud de la raíz (L.R), diámetro de la raíz (DR), masa fresca de hojas (MFH), masa fresca de la raíz (MFR), volumen de la raíz (VR), masa seca de hojas (MSH) y masa seca de raíz (MSR).

En t₂ (50 % sargazo + 50 % suelo k'an kab) donde se encontraron plantas con diferencia estadística significativa en las variables: área foliar, masa fresca de hojas, masa fresca de la raíz, volumen de raíz, longitud de raíz y en masa seca de raíz.

En la variable diámetro de raíz, peso de materia seca foliar, no se encontró diferencia estadística significativa entre las plantas con los tratamientos.

Tabla 6

Medias finales de las variables agronómicas en rábano con sustratos a base de sargazo y suelo k'an kab.

Tratamiento	Longitud de raíz (cm)	Diámetro de raíz (cm)	Volumen de raíz (cm ³)	Masa fresca raíz (g)	Masa seca de raíz (g)
T ₁	12.46±0.51 a	2.26±1.23 a	10.12±1.56 ab	15.99±3.13 a	0.89±0.11 ab
T ₂	12.11±0.54 a	2.61±1.26 a	14.25±1.60 a	15.68±3.28 a	1.15±0.12 a
T ₃	9.88±0.57 b	4.43±1.33 a	7.11±1.69 ab	7.54±3.46 b	0.61±0.13 bc
T _{testigo}	6.39±0.80 c	0.57±1.99 a	0.33±2.39 c	0.62±4.64 b	0.06±0.17 d

Literales diferentes en una columna indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

T₁: 75 % sargazo 25 % suelo k'an kab, T₂ 50 % sargazo 50 % suelo k'an kab, T₃ 25 % sargazo 75 % suelo k'an kab y T₄ siendo el testigo 100 % suelo k'an kab.

Tabla 7

Contenido de masa fresca y seca de la hortaliza evaluada en sustratos a base de sargazo.

Tratamiento	Masa fresca de hojas (g)	Masa seca de hojas (g)
T ₁	5.56±0.89 ab	3.49±1.72 a
T ₂	6.72±0.91 a	0.63±1.77 a
T ₃	3.58±0.96 ab	0.41±1.86 a
T _{testigo}	1.10±1.36 c	0.15±2.99 a

Literales diferentes en una columna indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

T₁: 75 % sargazo 25 % suelo k'an kab, T₂ 50 % sargazo 50 % suelo k'an kab, T₃ 25 % sargazo 75 % suelo k'an kab y T₄ siendo el testigo 100 % suelo k'an kab.

Teniendo en cuenta los resultados se puede observar que en el cultivo de rábano con una combinación de 50% sargazo + 50% suelo k'an kab (T₂) tuvo una influencia positiva en los procesos fisiológicos y metabólicos; promueven características agronómicas favorables para dicha especie, cabe mencionar que en los tratamientos con mayor y menor volúmenes de sargazo las características agronómicas de las plantas evaluadas no fueron favorables por lo que se recomienda considerar el V/V mencionado anteriormente sin embargo en el tratamiento t₁ (75 % sargazo/ 25 % suelo k'an kab) el contenido de masa seca fue superior incluso en t₂ que tuvo valores superiores en otras variables lo cual podría ser por lo que mencionan Alcántara *et al.* (2016) de que las plantas sintetizan compuestos metabólicos y estructurales con determinados elementos químicos que se encuentran en el medio que las rodea tomando en cuenta lo anterior el t₁ indica que mayor presencia del sargazo lo cual le fue favorable para la obtención de determinados elementos esto es complementario con Ali *et al.* (2021) ya que mencionan que los extractos de macroalgas obtenidos por métodos basados en agua son los más económicos, amigables con el ambiente y eficaces en la recuperación a partir de la biomasa del sargazo de elementos minerales y compuestos hidrosolubles con actividad estimulante del crecimiento vegetal.

6.1.4 Lechuga (*Lactuca sativa* L.).

Debido a las condiciones de desarrollo fisiológicas inadecuadas de dicha hortaliza resultó imposible el registro de datos para la elaboración de las dinámicas de crecimiento, al igual cabe mencionar que al ser una planta de roseta la información como la dinámica de crecimiento y diámetro de la base no aporta información específica para ser comparada con otras investigaciones, sin embargo se realizaron las variables finales.

6.1.5 Variables evaluadas para el final del cultivo en lechuga. Para las variables finales se consideró: área foliar (AF), longitud de la raíz (L.R), diámetro final de la base (DFB), masa fresca de hojas (MFH), masa fresca de la raíz (MFR), volumen de la raíz (VR), masa seca de hojas (MSH), masa fresca de la base (MFB) y masa seca de raíz (MSR).

Tabla 8

Medias de las variables finales evaluadas en lechuga.

Tratamiento	Área foliar (cm ²)	Longitud de raíz (cm)	Diámetro final de base (mm)	Volumen de raíz (cm ³)
T ₁	54.35±27.62 a	16.53±1.08 a	3.78±0.40 a	1.93±0.41 a
T ₂	103.37±29.62 a	11.88±1.14 b	3.80±0.42 a	0.98±0.43 a
T ₃	145.07±50.43 a	11.73±1.98 bc	3.65±0.73 a	0.70±0.74 a
T _{testigo}	0 a	0 d	0 a	0 a

Literales diferentes en una columna indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

T₁: 75 % sargazo 25 % suelo k'an kab, T₂ 50 % sargazo 50 % suelo k'an kab, T₃ 25 % sargazo 75 % suelo k'an kab y T₄ siendo el testigo 100 % suelo k'an kab.

Tabla 9

Contenido de masa fresca y seca en lechuga cultivada en sustratos a base de sargazo.

Trat.	MFH (g)	MFB (g)	MFR (g)	MSH (g)	MSB (g)	MSR (g)
T ₁	3.76±1.43 a	0.33±0.27 a	1.74±0.33 a	0.24±0.10 a	0.02±0.03 a	0.11±0.03 a
T ₂	5.18±1.50 a	0.58±0.29 a	1.07±0.34 a	0.35±0.10 a	0.05±0.03 a	0.07±0.03 a
T ₃	7.99±2.60 a	1.36±0.50 a	0.78±0.59 a	0.49±0.17 a	0.14±0.05 a	0.07±0.05 a
T _{testigo}	0 a	0 a	0 a	0 a	0 a	0 a

Literales diferentes en una columna indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). **Trat.** = tratamientos, **MFH** = masa fresca de hojas, **MFB** = masa fresca de la base, **MFR** = masa fresca de la raíz, **MSH** = masa seca de hojas, **MSB** = masa seca de la base y **MSR** = masa seca de raíz.

T₁: 75 % sargazo 25 % suelo k'an kab, T₂ 50 % sargazo 50 % suelo k'an kab, T₃ 25 % sargazo 75 % suelo k'an kab y T₄ siendo el testigo 100 % suelo k'an kab.

Para la variable longitud de raíz, se encontró diferencia estadística significativa en las plantas de lechuga en el tratamiento t₁ (75 % sargazo + 25 % suelo k'an kab) esto indica que la presencia de sargazo mejora las características del sustrato este resultado coincide con lo que mencionan Khan *et al.* (2009) que la aplicación de extractos de algas marinas ha dado como resultado un aumento en el rendimiento de diversas cosechas y la absorción de nutrientes, lo cual se ha demostrado el efecto benéfico por su contenido de proteínas, aminoácidos y carbohidratos. Adicionalmente, existe evidencia de la presencia de reguladores de crecimiento vegetal con efecto en el enraizamiento y aumento de la biomasa.

Respecto a las variables: Área foliar (ÁF), diámetro final de la base (DFB), masa fresca de hojas (MFH), masa fresca de la base (MFB), masa fresca de raíz (MFR), volumen de raíz (VR), masa seca de hojas (MSH), masa seca de la base (MSB) y masa seca de raíz (MSR), no se encontró diferencia estadística entre las plantas con los tratamientos.

Respecto a esta hortaliza no se observó diferencias estadísticas en las plantas con los tratamientos, respecto a la producción de raíz se observó un aumento significativo en las plantas de lechuga con el t_3 (25 % sargazo + 75 % suelo k'an kab) esto indica que el sargazo con dicha combinación pudiera aportar características físicas ideales en el sustrato y minerales necesarios para la obtención de raíces más desarrolladas sin embargo se aplicó en dos ocasiones poly feed 19-19-19-ME en una dosis de $2.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, cabe mencionar que esto sugiere probar otros experimentos futuros con la combinación mencionada. Según Rodríguez y Van (2020) mencionan que un análisis de muestras de sargazo colectadas en 2018 y 2019 a lo largo del Caribe mexicano indicó que éste contiene macronutrientes en concentraciones suficientes para ser utilizados en la industria alimenticia y como fertilizante.

Observación: Debido a las características físicas del testigo (T_4), no se obtuvo resultados ya que la compactación de dicho sustrato inhibió la emergencia de la especie a desarrollar.

6.1.6 Cilantro (*Coriandrum sativus* L.).

Altura de planta

Los resultados obtenidos en la variable altura, se encontró diferencia estadística significativa en las plantas de cilantro con los tratamientos.

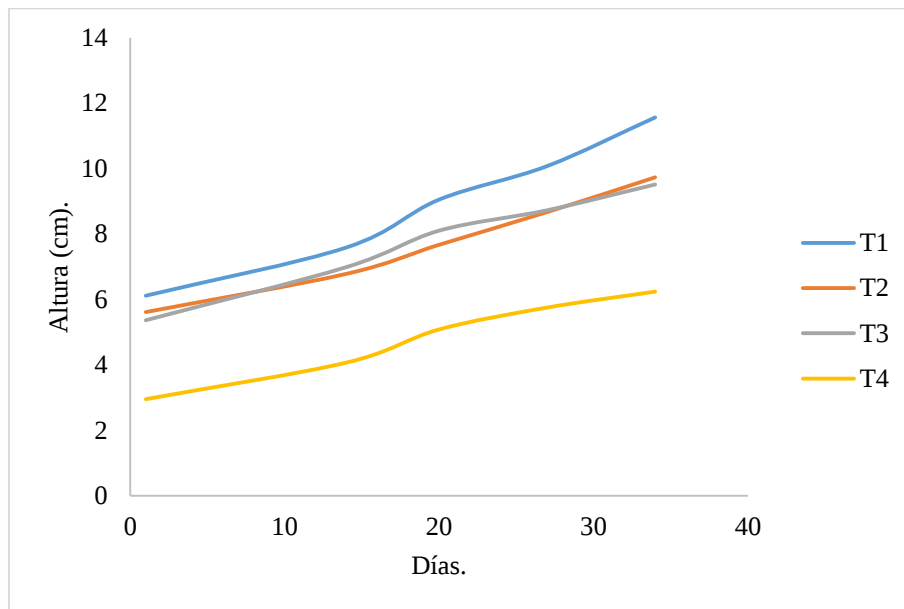


Figura 4. Dinámica de crecimiento del cilantro (*Coriandrum sativus* L.) evaluadas 5 semanas.

T₁: 75 % sargazo 25 % suelo *k'an kab*, *T₂* 50 % sargazo 50 % suelo *k'an kab*, *T₃* 25 % sargazo 75 % suelo *k'an kab* y *T₄* siendo el testigo 100 % suelo *k'an kab*.

Debido a las temperaturas registradas en el periodo de realización del experimento, en el sitio I y tomando en cuenta que la hortaliza es susceptible a temperaturas mayores a los 34 °C no se obtuvo resultados esperados véase anexo1. De acuerdo a Castaños (2000), menciona que “La temperatura tiene una influencia directa sobre la velocidad de la división celular, actividad fisiológica que se desarrolla entre 5 y 30 °C, y que está íntimamente ligada al periodo de crecimiento de los cultivos. Además es determinante en los procesos de fotosíntesis, respiración y acumulación de azúcares y almidones”.

6.2 Sitio II. Evaluación de tres mezclas de sargazo con suelo común (k'an kab) y un testigo el cual fue (50 % suelo k'an kab + 50 % gallinaza), en dos especies de hortalizas rábano y cilantro

6.2.1 Temperatura registrada en el invernadero. Se registraron las temperaturas con la ayuda de un data logger de la marca HOB0® mod: onset U12-012, la cual nos proporcionó información cada 1 hora durante las 24 horas, (Anexo 2) solo se representan las temperaturas promedio de 7 am a 7 pm durante el periodo del experimento ubicado en el invernadero tipo “túnel” ubicado en el Instituto Tecnológico campus Conkal.

En el sitio II, se registraron de las temperaturas a finales de abril y principios de mayo en el sitio de estudio en las cuales se consideraron las temperaturas promedio, máximas y mínimas en las cuales las máximas no superaron los 42 °C este descenso de temperatura se debió al cambio del sitio de estudio lo cual disminuyo la temperatura pero debido al clima que caracteriza a estado de Yucatán y en las condiciones que se llevó a cabo el experimento la temperatura aún resulta ser inadecuada para las especies que fueron cultivadas.

6.2.2 Rábano (*Raphanus sativus* L.).

Altura de planta

En el sitio II, se puede observar que respecto a la variable altura de la planta, se encontró diferencia estadística significativa con las plantas de rábano con el testigo (50 % suelo k'an kab + 50 % gallinaza) con una altura superior a los tratamientos de mezclas con sargazo estos resultados indican que si bien los resultados del sitio I fueron superiores al testigo esto pudiera ser por que el testigo en dicho sitio solamente fue suelo común sin combinación. Lo cual sugiere

que en futuras investigaciones se tome en cuenta para poder mejorar las características de dichas mezclas e incrementar el desarrollo fisiológico y metabólico de estas especies.

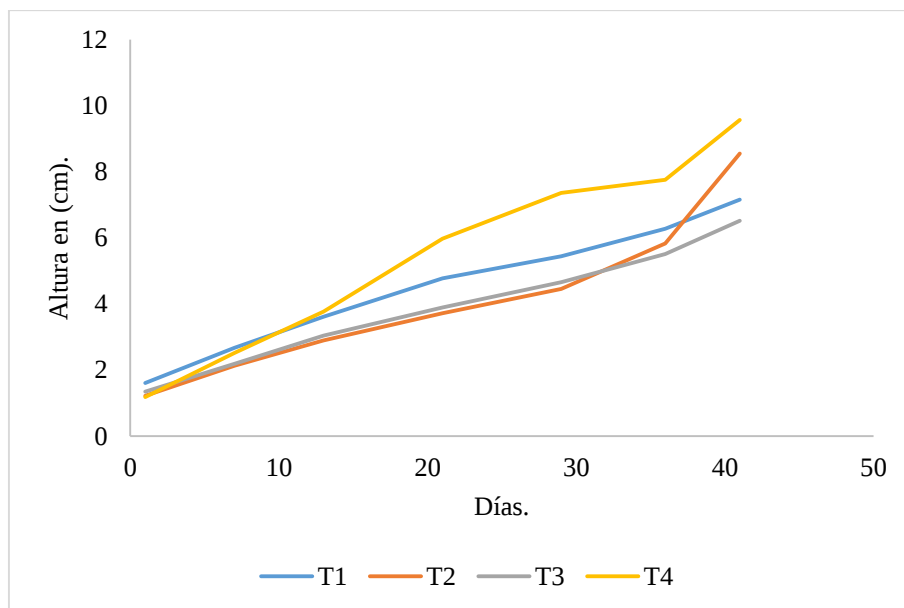


Figura 5. Dinámica de crecimiento del rábano (*Raphanus sativus* L.) evaluadas 7 semanas.

*T*₁: 75 % sargazo 25 % suelo *k'an kab*, *T*₂ 50 % sargazo 50 % suelo *k'an kab*, *T*₃ 25 % sargazo 75 % suelo *k'an kab* y *T*₄ siendo el testigo: 50 % suelo *k'an kab* + 50 % gallinaza.

Diámetro de tallo

Respecto a la variable diámetro de tallo, se encontró diferencia estadística significativa en las plantas con el testigo en el cual tuvo mayor diámetro de tallo como se muestra en la figura 6 estos resultados nos indican que aún hay trabajo para futuras investigaciones que propongan métodos para mejorar dichas mezclas, esto coincide con Silva *et al.* (2019) lo cual comentan que esto muestra que hay un reto interesante en futuros estudios para la aplicación de algas en extractos y biofertilizante.

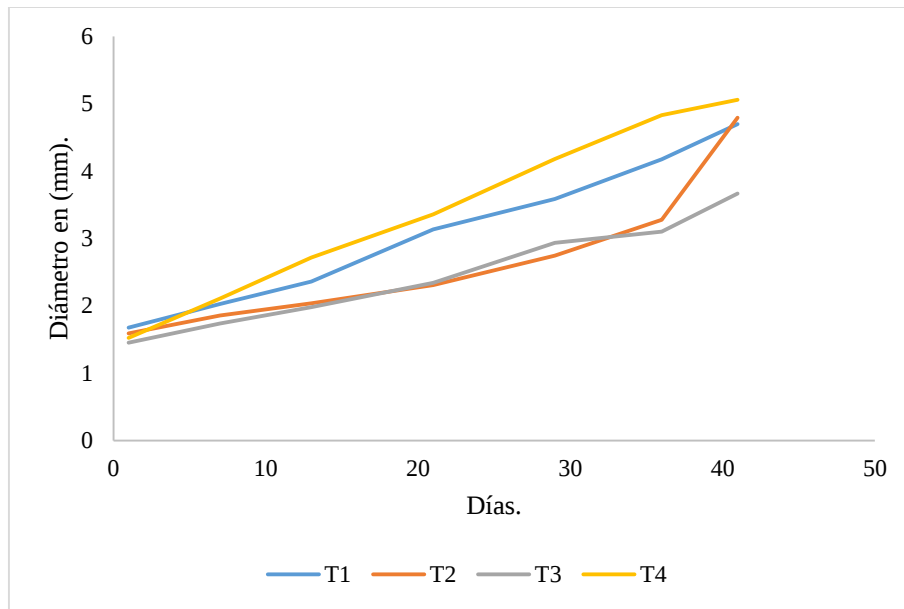


Figura 6. Comportamiento del (Diámetro) en rábano (*Raphanus sativus* L.) evaluadas durante 7 semanas.

T_1 : 75 % sargazo 25 % suelo k'an kab, T_2 50 % sargazo 50 % suelo k'an kab, T_3 25 % sargazo 75 % suelo k'an kab y T_4 siendo el testigo: 50 % suelo k'an kab + 50 % gallinaza.

Hojas

En la variable número de hojas, se encontró diferencia estadística significativa en las plantas con los tratamientos T_1 y T_4 , con mayor producción de hojas durante el ciclo del cultivo como se muestra en la figura 7 cabe mencionar que se observa en la (figura 7) un descenso en todos los tratamientos lo cual se le atribuye al aumento de temperatura registrado en el sitio de estudio.

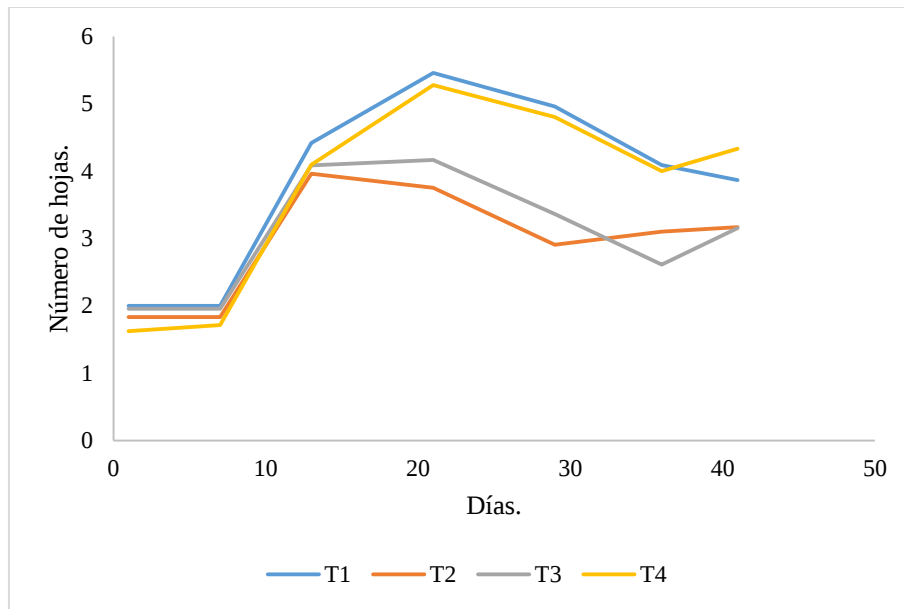


Figura 7. Cobertura foliar de la especie rábano (*Raphanus sativus* L.) evaluado durante 7 semanas.

T_1 : 75 % sargazo 25 % suelo k'an kab, T_2 50 % sargazo 50 % suelo k'an kab, T_3 25 % sargazo 75 % suelo k'an kab y T_4 siendo el testigo: 50 % suelo k'an kab + 50 % gallinaza.

6.4.3 Variables evaluadas al final del ciclo del cultivo rábano (*Raphanus sativus* L.). Para las variables finales se consideró: área foliar (AF), longitud de la raíz (L.R), diámetro de la raíz (D.R), masa fresca de hojas (MFH), masa fresca de la raíz (MFR), volumen de la raíz (VR), masa seca de hojas (MSH) y masa seca de raíz (MSR).

Tabla 10

Medias de las variables fisiológicas estudiadas en rábano (Raphanus sativus L.) en el sitio II.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Número de Hojas	Unidades SPAD	Área foliar (cm ²)
T ₁	4.51±0.09 b	3.09±0.06 b	3.83±0.08 a	34.99±1.28 a	45.83±9.44 a
T ₂	4.12±0.12 c	2.66±0.08 c	2.94±0.10 b	30.94±1.03 b	55.22±17.67 a
T ₃	3.88±0.10 c	2.46±0.07 c	3.04±0.08 b	34.05±0.95 a	22.98±11.57 a
T _{estigo}	5.45±0.12 a	3.40±0.04 a	3.69±0.10 a	28.31±1.20 c	71.47±14.43 a

Literales diferentes en una columna indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

T₁: 75 % sargazo 25 % suelo k'an kab, T₂ 50 % sargazo 50 % suelo k'an kab, T₃ 25 % sargazo 75 % suelo k'an kab y el T_{estigo}: 50 % suelo k'an kab + 50 % gallinaza.

Respecto a la variable **AF**, no se encontró diferencia estadística significativa en las plantas con los tratamientos, sin embargo en las variables: **Unidades SPAD, L.R, D.R y VR**, se encontró diferencia estadística significativa siendo los tratamientos T_{estigo} y T₁ los cuales presentaron mayor producción de raíz en las plantas de rábano.

Tabla 11

Medias finales de las variables agronómicas en rábano con sustratos a base de sorgazo y un testigo (50 % suelo k'an kab + 50 % gallinaza) en el sitio II.

Tratamiento	Longitud de raíz (cm)	Diámetro de raíz (cm)	Volumen de raíz (cm ³)	Masa fresca de raíz (g)	Masa seca de raíz (g)
T ₁	10.52±0.53 ab	1.01±0.13 b	2.30±1.05 b	2.32±1.06 b	0.20±0.07 b
T ₂	8.48±1.03 bc	0.87±0.26 bc	3.58±2.06 b	3.07±2.08 b	0.30±0.13 b
T ₃	7.70±0.67 bc	0.82±0.17 bc	1.66±1.35 b	1.58±1.36 b	0.13±0.09 b
T _{estigo}	11.69±0.84 a	2.69±2.10 a	15.17±1.68 a	15.75±1.70 a	0.87±0.11 a

Literales diferentes en una columna indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

T₁: 75 % sorgazo 25 % suelo k'an kab, T₂ 50 % sorgazo 50 % suelo k'an kab, T₃ 25 % sorgazo 75 % suelo k'an kab y el T_{estigo}: 50 % suelo k'an kab + 50 % gallinaza.

Respecto a las variables: **MFH**, **MFR**, **MSH**, **MSR**, se encontró diferencia estadística significativa en las plantas de rábano con el tratamiento T_{estigo} los cuales produjeron mayor contenido de masa fresca y seca.

Tabla 12

Contenido de masa fresca y seca en rábano cultivada en sustratos a base de sargazo.

Tratamiento	Masa fresca de hojas (g)	Masa seca de hojas (g)
T ₁	2.83±0.61 bc	0.30±0.06 bc
T ₂	3.56±1.14 ab	0.39±0.10 ab
T ₃	1.68±0.75 bc	0.20±0.07 bc
T _{estigo}	6.18±0.93 a	0.52±0.08 a

Literales diferentes en una columna indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

T₁: 75 % sargazo 25 % suelo k'an kab, T₂ 50 % sargazo 50 % suelo k'an kab, T₃ 25 % sargazo 75 % suelo k'an kab y el T_{estigo}: 50 % suelo k'an kab + 50 % gallinaza.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este experimento, se indica que las plantas de rábano con el tratamiento T_{estigo} tuvieron mejor desarrollo fisiológico y contenido de materia seca, sin embargo en la variable: unidades SPAD, se encontró diferencia estadística significativa con las plantas de rábano en T₁ y T₃, cabe mencionar que el tratamiento T₄ presento mejores resultados en la mayoría de las variables; estos resultados bajo las condiciones y métodos en este experimento (sitio II) no coincide con la información emitida por Pérez (2018), el cual menciona que el sargazo, más allá de ser un “desastre ecológico”, tiene un gran potencial para ser utilizado como sustrato en cultivos hidropónicos y como abono para plantas, ya que señala que los materiales orgánicos que mejor rendimiento obtuvieron fueron el dzidzilché y el sargazo; señaló que este último cuenta con muy buenos contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio, que son esenciales para el crecimiento de las plantas. Cabe mencionar que bajo la técnica utilizada no coincide en los elementos mencionados ya que en muestras analizadas de los tratamientos no se encontraron dichos minerales véase el anexo 4.

6.2.3 Cilantro (*Coriandrum sativus* L.).

Altura de la planta

Respecto a la variable altura de la planta, se encontró diferencia estadística significativa en las plantas de cilantro con el tratamiento T₃ (25 % sargazo + 75 % suelo k'an kab) como se muestra en la figura 9, estos resultados coincide con Silva *et al.* (2019) ya que comentan que a menores concentraciones el extracto de alga influye positivamente en el crecimiento y desarrollo de las estructuras vegetales, lo cual es importante señalar ya que en esta especie cultivada se obtuvo un mejor desarrollo fisiológico y agronómicas en dicha mezcla.

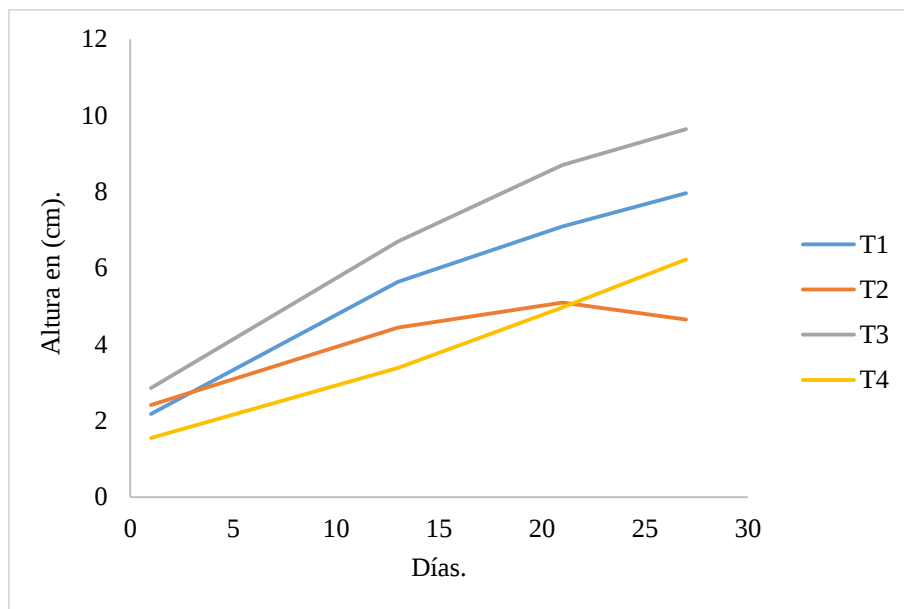


Figura 8. Dinámica de crecimiento del cilantro (*Coriandrum sativus* L.) evaluadas durante 4 semanas.

T₁: 75 % sargazo 25 % suelo k'an kab, T₂ 50 % sargazo 50 % suelo k'an kab, T₃ 25 % sargazo 75 % suelo k'an kab y T₄ siendo el testigo: 50 % suelo k'an kab + 50 % gallinaza.

Tabla 13*Medias de las variables estudiadas en cilantro.*

Tratamiento.	Altura (cm)	Unidades SPAD	Área foliar (cm ²)	Longitud de raíz (cm)	Volumen de raíz (cm ³)
T ₁	5.72±0.18 b	14.36±1.21 a	74.93±11.77 b	7.33±0.60 b	2.02±0.36 b
T ₂	4.15±0.21 c	10.41±1.50 b	3.49±22.53 c	3.00±1.15 c	0.07±0.69 c
T ₃	6.98±0.18 a	15.70±1.21 a	117.76±12.34 a	10.02±0.63 a	4.92±0.38 a
T _{testigo}	4.03±0.20 c	11.70±1.70 a	8.78±14.75 c	3.56±0.76 c	0.47±0.45 c

Literales diferentes en una columna indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

T₁: 75 % sargazo 25 % suelo k'an kab, T₂ 50 % sargazo 50 % suelo k'an kab, T₃ 25 % sargazo 75 % suelo k'an kab y T₄ siendo el testigo: 50 % suelo k'an kab + 50 % gallinaza.

6.2.4 Variables evaluadas al final del ciclo del cultivo cilantro (*Coriandrum sativus* L.). Para las variables finales se consideró: Área foliar (ÁF), longitud de la raíz (L.R), masa fresca de hojas (MFH), masa fresca de la raíz (MFR), volumen de la raíz (VR), masa seca de hojas (MSH) y masa seca de raíz (MSR).

Tabla 14

Contenido de materia fresca y seca en cilantro cultivada en sustratos a base de sargazo.

Tratamientos	Masa fresca de hojas (g)	Masa fresca de raíz (g)	Masa seca de hojas (g)	Masa seca de raíz (g)
T ₁	6.19±1.21 b	2.29±0.36 b	0.63±0.10 b	0.29±0.06 a
T ₂	0.20±2.31 c	0.04±0.70 c	0.05±0.20 c	0.01±0.11 b
T ₃	12.83±1.26 a	4.89±0.38 a	1.35±0.11 a	0.41±0.06 a
T _{estigo}	0.74±1.51 c	0.49±0.46 c	0.12±0.13 c	0.05±0.07 b

Literales diferentes en una columna indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). T₁: 75 % sargazo 25 % suelo k'an kab, T₂ 50 % sargazo 50 % suelo k'an kab, T₃ 25 % sargazo 75 % suelo k'an kab y el T_{estigo}: 50 % suelo k'an kab + 50 % gallinaza.

Respecto a los resultados obtenidos en la hortaliza cilantro con el tratamiento T₃ (25 % sargazo + 75 % suelo k'an kab) tuvo características agronómicas superiores, lo cual indica que el sargazo en combinación con suelo k'an kab es un sustrato que promueve un crecimiento y desarrollo adecuado, estos resultados coinciden con Metting *et al.* (1990) mencionan que “las algas en estado fresco o secas, o en harina aplicadas a los suelos, tienen dos funciones principales: 1) como fertilizantes, promueven el crecimiento de la planta ya que liberan lentamente los nutrientes minerales y orgánicos, y 2) como acondicionador del suelo, mejorando la aireación y adicionando estabilidad.

Respecto a las temperaturas en los dos sitios de realización del experimento resultan ser inadecuadas para las especies cultivadas sin embargo, se pudo observar una disminución del 10

% de la temperatura en el sitio II respecto al sitio I esto por las dimensiones del invernadero, sin embargo las temperaturas aun resultaron ser inadecuadas para las especies cultivadas.

En las variables altura de la planta, número de hojas y diámetro de tallo en las tres hortalizas cultivadas y tomando en cuenta las tres son plantas tipo roseta; estas variables no aportan gran información para ser comparadas con otros autores, aunque fueron tomadas en cuenta debido a que uno de los objetivos de esta investigación es evaluar el comportamiento fisiológico de dichas especies.

Respecto a las variables: agronómicas en rábano (*Rhapanus sativus* L.) en la variable longitud de raíz fue superior por un 7 % con las plantas de rábano en los tratamiento T₁ y T₂ en el sitio I respecto al sitio II donde el testigo (T₄) fue superior a todos los tratamientos.

Contenido de masa fresca de raíz: En el sitio I las plantas de rábano con el T₁ y T₂ fueron superiores por un 2 % respecto a las plantas del T_{testigo} del sitio II, en cuanto a masa seca de la raíz en las plantas el sitio I fue superior el T₂ por 24 % respecto al sitio II en donde las plantas del T₄ obtuvieron mayor porcentaje de masa seca de raíz y en masa fresca de hojas se encontró diferencia estadística significativa en las plantas con T₂ esto solo en el sitio I, lo cual indica que aun en condiciones de altas temperaturas registradas en el sitio I presento mejores resultados que en el sitio II lo que se le atribuye a los procedimientos y tratamientos del sargazo (secado, triturado y esterilizado) de acuerdo con Bula (2004) que menciona que en cuanto al secado de las algas, ya sean cortadas o enteras, debe realizarse lo más pronto posible, pues de lo contrario se perderán nutrientes y que al someter el material a un cambio rápido de presión se rompen los componentes estructurales de las células permitiendo liberar prácticamente todos los constituyentes intracelulares, incluyendo los reguladores de crecimiento del alga (RCPs). De

acuerdo a los resultados encontrados, éstos coinciden con Herrera *et al.* (2022) quienes mencionan 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 sustrato agrícola.

En la hortaliza lechuga (*Lactuca sativa* L.) solamente se obtuvo resultados del sitio I y se encontró diferencia estadística en la variable longitud de raíz con las plantas en T₁ lo cual indica que hubo mayor desarrollo radical. En el sitio II en cilantro (*Coriandrum sativum* L.) obtuvo los mejores resultados ya que se encontró diferencia estadística significativa con las variables: unidad SPAD, área foliar, longitud de raíz y volumen de raíz en las plantas de cilantro en T₃.

VII. CONCLUSIONES

En rábano, las plantas cultivadas en sustrato con sargazo y suelo k'an kab, incrementaron el volumen y la masa fresca de raíz (fruto) respecto al testigo; siendo el sustrato 50/50 (T₂) el que presenta un incremento del 96 %. Anexo 5.

En cilantro produce mayor cantidad (90 % más) de masa fresca (biomasa comercial) al cultivarse en una mezcla de 75/25 (sargazo/suelo) (T₃) con un aumento de altura en la planta: 46 % respecto al testigo.

Para la hortaliza lechuga no se puede concluir algún efecto de los tratamientos ya que las plantas presentaron problemas de crecimiento que no permitieron evaluar las variables del estudio. Anexo 6.

VII. FUENTES DE INFORMACIÓN

- Agroes (2015) Rábano, taxonomía, y descripciones botánicas, morfológicas, fisiológicas y ciclo biológico. Recuperado en: <https://www.agroes.es/cultivos-agricultura/cultivos-huerta-horticultura/rabano/428-rabano-descripcion-morfologia-y-ciclo>
- Agroes (2018) Lechuga, taxonomía, y descripciones botánicas, morfológicas, fisiológicas y ciclo biológico. Recuperado en: <https://www.agroes.es/cultivos-agricultura/cultivos-huerta-horticultura/lechuga/402-lechugas-descripcion-morfologia-y-ciclo>
- Aitken, J. y Senn, T. (1965). Seeweed products as fertilizer and soil conditioner for horticultura crops. (Estados Unidos) Bot. Marina, 8:144-148.
- Alcántara, G, Trejo, L y Gómez, F. (2016). Nutrición de cultivos. Editorial del colegio de posgraduados. Segunda edición. Carretera México-Texcoco. Pp: 24.
- Aldana, D (2020). México ante el sargazo. . Ciencia, Revista de la Academia Mexicana de Ciencias. Volumen 71, número 4. Ciudad de México. Pp: 6.
- Ali O, Ramsubhag A y Jayaraman J (2021). Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. Plants 10(3): 531.
- Barsanti, L y Gaultieri, G (2014). Algae. Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology. Second Edition. CRC Press. Pp. 344.
- Bhat, S., Kaushal, P., Kaur, M., & Sharma, H. (2014). Coriander (*Coriandrum sativum* L.): Processing, nutritional and functional aspects. African Journal of Plant Science, 8(1), 25–33. <https://doi.org/10.5897/ajps2013.1118>

- Brooks, Maureen T., Victoria J. Coles & William C. Coles (2019). Inertia influences pelagic *sargassum* advection and distribution. *Geophysical Research Letters*, 46.5, 2610-2618.
- Bula, G (2004). Las macroalgas marinas en la agronomía y el uso potencial del *sargassum* flotante en la producción de fertilizantes en el archipiélago de san Andrés y providencia, Colombia. *Revista intropica*. Santa Marta, Colombia. Recuperado en: [file:///C:/Users/johan/Downloads/Dialnet-LasMacroalgasMarinasEnLaAgronomiaYElUsoPotencialDe-5167545%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/johan/Downloads/Dialnet-LasMacroalgasMarinasEnLaAgronomiaYElUsoPotencialDe-5167545%20(1).pdf)
- Caballero, A; Acosta, G y Hernández, C (2020). El sargazo, un fenómeno complejo. *Ciencia, Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*. Volumen 71, número 4. Ciudad de México. Pp: 14-19.
- Cáceres, L. 2019. Manejo de plagas y enfermedades en hortalizas. Programa de Hortalizas, UNA La Molina. Pp 26.
- Carrera, B. 2019. Respuesta agronómica del cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.) a la aplicación de abonos orgánicos. Tesis Ing. Agr. La Maná. Ecuador. Pp 63.
- Castaños, C. (2000). Horticultura. Manejo simplificado. Universidad autónoma Chapingo. Primera edición. México Texcoco. Pp: 40.
- Cerezo, J. (2015). Comportamiento agronomico del cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*) con diferentes abonos organicos (en el colegio Pueblo Nuevo canton El Empalme año 2014). UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO.

- Farrel, E., Boustany, A., Halpin, P. y Hammond, D. (2014). Dolphinfinch (*Coryphaena hippurus*) distribution in relation to biophysical ocean conditions in the northwest Atlantic. Fisheries Research, 151, 177-190 <http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2013.11.014>.
- Franks, J., Johnson, D., & Ko, D. (2016). Pelagic *Sargassum* in the Tropical North Atlantic. Gulf and Caribbean Research, 27(1), SC6-SC11 doi: 10.18785/gcr.2701.08. (Estados Unidos).
- Fundación Charles Darwin (2010). Base de Datos de las Especies de Galápagos. Recuperado en: <https://datazone.darwinfoundation.org/es/checklist/?species=804>
- García M, Masia, L y Silva, R. (2020). Massive Influx of Pelagic *Sargassum* spp. On the Coasts of the Mexican Caribbean 2014–2020: Challenges and Opportunities. Water 12: 1-24.
- Gayosso, S; Borges, L; Villanueva, E; Estrada, M y Garruña, R (2016). Conductividad eléctrica y sales en lavados de fibra de coco y sargazo. Ciencia y Tecnol. Agrop. México Vol. 4 Núm. 1: 20-26. Villahermosa, Tabasco.pp:21-26.
- Gayosso, S; Borges, L; Villanueva, E; Estrada, M y Garruña, R (2018). Caracterización física y química de materiales orgánicos para sustratos agrícolas. *Agrociencia*, 52(4), 639-652. Recuperado en 18 de mayo de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000400639&lng=es&tlng=es.
- Guiry, M. and Guiry, G. (2019). *Sargassum* C.Agardh, 1820. (M. Guiry, Editor, & National University of Ireland, Galway) Recuperado en: http://algaebase.org/search/genus/detail/?genus_id=77.

- Hanan, A y Mondragón, J (2009) *Lactuca serriola* L. Lechuga silvestre (sugerido). Recuperado en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/lactuca-serriola/fichas/ficha.htm>
- Hanisak, M y Samuel, M. (1987). Growth rates in culture of several species of *Sargassum* from Florida, USA. *Hydrobiologia* 151: 399-404.
- Herrera-Monroy, S; Ordaz, V y Valdés, E (2022). Evaluación del Sargazo (*Sargassum spp.*) como componente de sustratos agrícolas. *Agrosur*. Recuperado en: <http://revistas.uach.cl/index.php/agrosur/article/view/7055/8112>
- Huffard, C., von Thun, S., Sherman, A., Sealy, K. y Smith K.L. (2014). Pelagic *Sargassum* community change over a 40-year period: temporal and spatial variability. *Marine Biology*, 161, 2735-2751, <https://doi.org/10.1007/s00227-014-2539-y>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía; INEGI (2016) Clima. Recuperado en: <http://www.gsj.inegi.org.mx/informacion.htm>
- Kalabeleko, (2025). La lechuga, larga historia y muchas propiedades. Recuperado en: <https://www.karabeleko.org/es/la-lechuga-larga-historia-y-muchas-propiedades>
- Khan, W., Rayirath, U.P., Subramanian, S. (2009). Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development. *J Plant Growth Regul* 28, 386–399. Recuperado en: <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>

- Laribi, B., Kouki, K., M'Hamdi, M., & Bettaieb, T. (2015). Coriander (*Coriandrum sativum* L.) and its bioactive constituents. *Fitoterapia*, 03(12), 9–26.
<https://doi.org/10.1016/j.fitote.2015.03.012>
- López, J; Celis, L; Estévez, M; Chávez, V; Van Tussenbroek, B; Uribe, A y Silva, R. (2021). Commercial potential of pelagic *Sargassum* spp. in Mexico. *Frontiers in Marine Science* 8: 1-16.
- Martínez, G. (2020). Sargazo: la irrupción atípica de un ecosistema milenario. Recuperado en: <https://doi.org/10.21149/10838>
- Méndez, J. (2004). “*Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt” Asturnauta.com. Recuperado en: <http://www.asturnatura.com/especie/sargassum-muticum.html>.
- Metting, B.; Zimmerman, W. J.; Crouch, I. And Staden, J. (1990). Agronomic Uses of Seaweed and Microalgae. *Introduction to Applied Phycology*. pp.589-627. Ed. bv. The Hague, The Netherland (1990).
- Nkemka, V. y Murto, M (2010), “Evaluation of biogas production from seaweed in batch tests and in UASB reactors combined with the removal of heavy metals”, *Journal of Environmental Management*, 91(7):1573-1579. Recuperado en: https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/71_4/PDF/11_71_4_1286_Sargazo_Potencial.pdf
- Ortegón, I y Ávila, V. (2020). Arribazón de sargazo en la península de Yucatán: ¿Problema local, regional o mundial? *Bioagrociencias* 8(2): 28-37.

Pérez, C. (2018). El sargazo, potencial biofertilizante: CICY. Recuperado en: <https://www.cienciamx.com/index.php/centros-de-investigacion/centros-publicos-de-investigacion/23502-el-sargazo-potencial-biofertilizante-cicy>

Rodríguez, R y Van-Tussenbroek, B (2020). El sargazo en los pastos marinos y arrecifes. Ciencia, Revista de la Academia Mexicana de Ciencias. Volumen 71, número 4. Ciudad de México. Pp: 28-33.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2018) El rábano, aliado de tu hígado y vesícula. Recuperado en: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/el-rabano-aliado-de-tu-higado-y-vesicula>

Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (2010). *Coriandrum Sativum*. Ficha técnica del *Coliandro*. Recuperado en: https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/sectores/aromaticas/productos/Coriandro_2011_07Jul.pdf

Secretaria de desarrollo agropecuario y recursos hidráulicos (2023). Resumen Histórico del Cierre Agrícola. Recuperado en: <https://sedarh.gob.mx/seia/cultivos/>

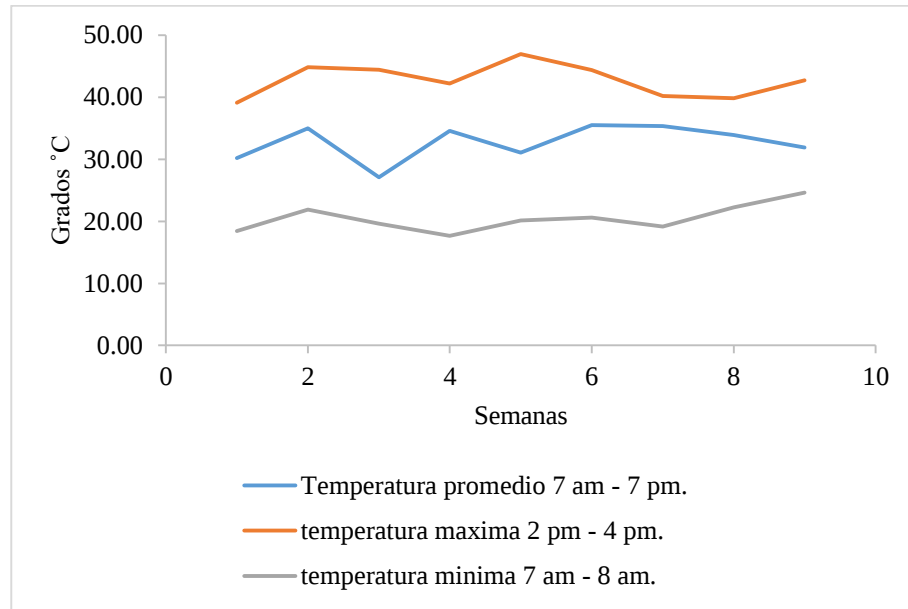
Silva, L., Bahcevandziev, K., Pereira, L. (2019). Production of biofertilizer from *Ascophyllum nudosum* and *Sargassum muticum* (Phaeophyceae). Journal of oceanology and limnology. Springer link. 37(3), 918-927. Recuperado en: https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/16750/mod_resource/content/4/TMA%20EDDM.pdf

- Sunarpi, H., Niktmatullah, A. Sunarwidhi, A., Ambaria, Y., Ilhami, B., Widyastuti, S., Hernawan, A., Prasedya, E. (2020). Effect of solid and liquid extracts of lombok *sargassum criastafolium* on growth and yield of rice plants (*Oryza sativa* L.). Journal Biology tropis., 20(3): 320-328. Recuperado en: https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/16750/mod_resource/content/4/TMA%20EDDM.pdf
- Torres, E y Martínez, B. (2020). Oceanographic and spatio-temporal analysis of pelagic *Sargassum drifts* in Playas del Este, La Habana, Cuba. Revista de Investigaciones Marinas 40(1): 47-66.
- Valdiviezo, Y. (2011). Identificación del agente causal de mancha foliar denominada peca en culantro (*Coriandrum sativum* L.) y establecer la eficiencia de control mediante productos orgánicos. Escuela Superior Politécnica del Ejército.
- Van Tussenbroek, B., Hernandez-Arana, H., Rodríguez-Martínez, R., Espinoza-Avalos, J., Canizales-Flores, H., González-Godoy, C. y Collado-Vides, L. (2017). Sever impact of brown tides caused by *Sargassum* spp. On near shore Caribbean seagrass communities. Marine Pollution Bulletin, 122, 272-28. Recuperado en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.057>.
- Vijayanand, N., Sivargansari, S., Rathinavel, S. (2014). Potencial of liquid extracts of sargassum wightii on growth biochemical and yield parameters of cluster bean plant. Asian pacific journal of reproduction. 3(2), 150-153.

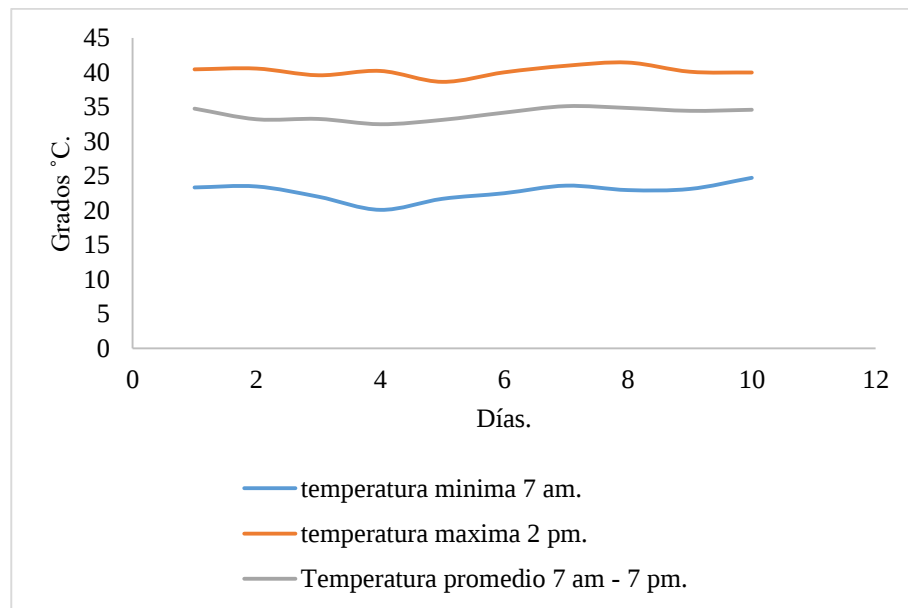
Wahid, A; Gelani, S; Ashraf, M y Foolad, M,R (2007). Heat tolerance in plants: An overview. Environmental and Experimental Botany, (Estados Unidos). Volume 61, Issue 3. Page: 199-223. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S009884720700081>

Anexos

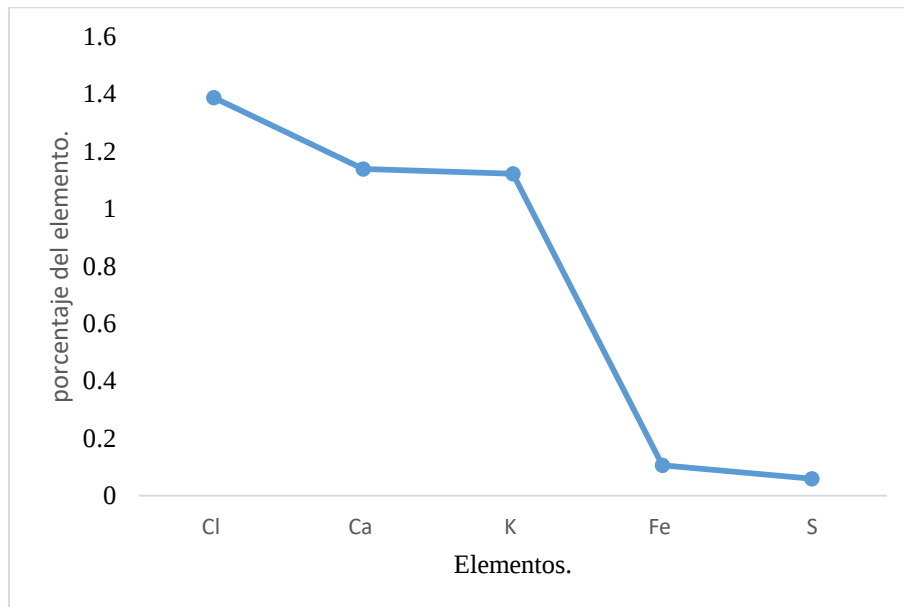
Anexo 1. Temperaturas registradas durante los meses de febrero, marzo y abril en el invernadero tipo “Capilla” del ITC (sitio I).



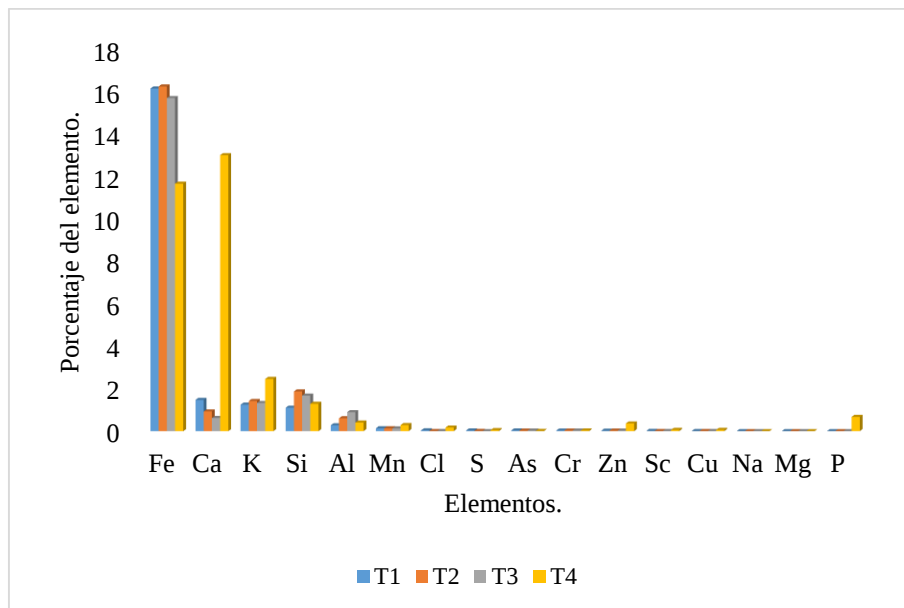
Anexo 2. Temperaturas registradas en el invernadero tipo “túnel” del ITC durante 10 días en los meses de abril-mayo (sitio II).



Anexo 3. Elementos encontrados en el agua de lavado de sargazo.



Anexo 4. Elementos encontrados en las mezclas de sargazo / suelo k'an kab.



Anexo 5. Diferencias en rábano entre t_2 (50 % sargazo + 50 % suelo *k'an kab*) y el testigo (100 % suelo *k'an kab*), a y b representa t_2 y b, c t_3 .



Anexo 6. Desarrollo de lechuga en sustrato a base de sargazo, a t_1 (75 % sargazo + 25 % suelo *k'an kab* y b t_3 (25 % sargazo + 75 % suelo *k'an kab*).

