



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Tecnológico Nacional de México

Instituto Tecnológico Superior de Guasave

Tesis

Efecto de extractos de algas y ácidos húmicos en el crecimiento y estado nutricional del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Guasave, Sinaloa

Presentada por:

Sebastián Peñuelas Soberanez

Como requisito para la obtención del grado de
Ingeniero en Innovación Agrícola Sustentable

Director(a) de Tesis

Dr. Adalid Graciano Obeso

Codirector(a) de Tesis

MC. Julián Alberto Galaviz Lara



Guasave, Sinaloa, México; junio de 2026.

	LIBERACIÓN DE PROYECTO PARA TITULACIÓN INTEGRAL PLAN 2015	Responsable: Jefatura de División de Ciencias
	Referencia a la Norma: ISO 9001:2015 8.1;8.2.1;8.2.2;8.2.3;8.5.1;8.5.2;8.6;8.7.2	Código: ITSG-SIG-AO-PO-19-03
	Referencia a la Norma: ISO 21001:2018 8.1;8.1.1;8.1.2;8.2.1;8.2.2;8.2.3;8.3.3;8.3.4;8.6;8.7;9.1.2	Revisión: 5
		Fecha de Emisión: Julio 2025
		Página 1 de 1

Guasave, Sinaloa, Fecha: 24 de junio de 2026

ASUNTO: Liberación de proyecto para titulación integral

ING. LAURA BEATRÍZ INZUNZA RAMÍREZ

COORDINACIÓN DE TITULACIÓN

PRESENTE

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

Nombre del estudiante y/o egresado(a):	Sebastián Peñuelas Soberanez
Carrera:	Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable
Número de control:	2125010235
Nombre del proyecto:	Efecto de extractos de algas y ácidos húmicos en el crecimiento y estado nutricional del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) en Guasave, Sinaloa
Producto:	Tesis

Solo para la Opción de tesis:

Estudiante y/o egresado(a):

CURP	PESS031120HSLXBBA1
------	--------------------

Asesor(a):

Nombre completo	Dr. Adalid Graciano Obeso
CVU	421431

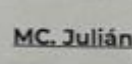
Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros(as) egresados(as).

ATENTAMENTE



M.C. HÉCTOR RAMIRO MENDÍVIL TRUJILLO

Nombre y firma del (de la) Jefe(a) de División de Ciencias Agronómicas

 Dr. Adalid Graciano Obeso	 M.C. Gregorio Pollorena López	 M.C. Julián Alberto Galaviz Lara
Nombre y firma del Asesor(a)	Nombre y firma del Revisor(a)	Nombre y firma del Revisor(a)

* solo aplica para el caso de tesis y tesina

C. c. p. Expediente

C. c. p. Departamento de Centro de Recurso para el Aprendizaje e Innovación.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, quienes han sido fundamentales en mi formación personal y me han impulsado a alcanzar mis metas. Gran parte de mis logros son resultado de su apoyo, esfuerzo y confianza. Asimismo, agradezco a Dios por brindarme la fortaleza y la perseverancia necesarias para seguir adelante cada día. De igual manera, expreso mi reconocimiento a todos los docentes que me guiaron y asesoraron a lo largo de este proceso académico.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Sinaloa, por brindarme las facilidades, infraestructura y recursos necesarios para el desarrollo del presente proyecto de residencia profesional.

De manera especial se agradece al Dr. Adolfo Dagoberto Armenta Bojórquez y al MC. Julián Alberto Galaviz Lara, ámbos como asesores externos por su acompañamiento, orientación técnica y disposición para compartir sus conocimientos durante todas las etapas del proyecto.

Asimismo, se agradece al personal del área de Biotecnología Agrícola por el apoyo brindado en las actividades experimentales y de laboratorio.

Finalmente se reconoce y agradece el apoyo al Dr. Adalid Graciano Obeso asesor interno y el apoyo de los docentes del Instituto Tecnológico Superior de Guasave, así como el respaldo y apoyo de la familia, amigos y compañeros, que ayudaron y contribuyeron ya sea de una manera directa e indirecta a la formación profesional del autor.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
GLOSARIO	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
Características generales del frijol y clasificación taxonómica	3
Nutrición vegetal del frijol	4
Bioestimulantes en la agricultura	4
Extractos de algas como Bioestimulantes	5
Ácidos húmicos y su función en el suelo y la planta	7
Ácidos húmicos (AH)	7
3. ALCANCES Y LIMITACIONES	9
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
5. JUSTIFICACIÓN	12
6. OBJETIVOS	14
6.1 Objetivo General	14
6.2 Objetivos específicos	14
7. HIPÓTESIS	15

8. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	16
9. MARCO TEÓRICO.....	17
Cultivo de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) y su importancia agronómica.....	17
Bioestimulantes agrícolas.....	17
Extractos de algas como bioestimulante	18
Sustancias húmicas y ácidos húmicos	19
Leonardita como fuente de ácidos húmicos	20
Interacción entre extractos de algas y ácidos húmicos.....	21
10. METODOLOGÍA.....	23
Ubicación del sitio experimental.....	23
Recolección e identificación de algas	23
Extracción de compuestos bioactivos de algas marinas.....	24
Extracción y separación de ácidos húmicos.....	24
Cuantificación de ácidos húmicos.....	25
Análisis fisicoquímico y nutrimental de ácidos húmicos y extracto de alga.....	26
Determinación de materia orgánica	26
Análisis de fósforo	26
Análisis nutrimental de K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu y Mn.	27
Experimento 1. Selección de los mejores extractos de algas nativas como bioestimulante en frijol en condiciones de invernadero.....	28
Experimento 2: Comparación de ácidos húmicos de leonardita con comerciales en el crecimiento de plántulas de frijol en invernadero.	29
AH1 Leonardita 1, Monclova, Coahuila, México.....	30
AH2 Leonardita 2, San Luis Potosí, México	30
AH3 Leonardita 3, Torreón, Coahuila, México	30
Variables evaluadas en planta.	32

Determinación de nitrógeno total	34
Determinación de fósforo	35
Determinación de potasio.....	35
Determinación de calcio y magnesio.	36
Determinación de hierro, manganeso, zinc y cobre.	36
11. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
Primer experimento. Selección de mejores algas endémicas de Sinaloa como bioestimulantes en cultivo de frijol en invernadero.....	38
En peso seco de follaje	38
Segundo experimento selección de ácidos húmicos en el crecimiento de frijol..	42
Tercer experimento combinación de ácidos húmicos con extractos de algas en el crecimiento de frijol	45
12. CONCLUSIONES.....	48
13. RECOMENDACIONES	50
14. BIBLIOGRAFÍA.....	51
15. ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.-	Manual de identificación de macroalgas de las lagunas costeras de Sinaloa.....	23
Figura 2.-	Inicio de desarrollo de plantas de frijol en experimento.....	31
Figura 3.-	Aplicación de los tratamientos de extractos de algas y de ácidos húmicos en plantas de frijol en invernadero.....	32
Figura 4.-	Medición de diámetro de tallo y altura de plantas de frijol.....	33
Figura 5.-	Digestiones ácidas de tejido vegetal para el análisis nutricional foliar.....	37
Figura 6.-	Comparación de los tratamientos fertilización sintética con los tratamientos extracto de alga <i>Ulva</i> DB y <i>Dictyota</i> DA.....	41
Figura 7.-	Comparación de los tratamientos testigo agua con los tratamientos ácido húmico 3 DA.....	45
Figura 8.-	Comparación de tratamientos testigo agua con la mezcla de extracto de alga <i>Dictyota</i> DA con ácido húmico comercial DA.....	47

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.-	Descripción de tratamientos en experimento de selección de extractos de algas.....	28
Cuadro 2.-	Descripción de tratamientos en experimento de selección de ácidos húmicos.....	29
Cuadro 3.-	Descripción de tratamientos en interacción de extractos de algas y ácidos húmicos como promotores de crecimiento en frijol.....	30
Cuadro 4.-	Comparación de medias en altura de planta, diámetro de tallo y peso seco de follaje en el experimento, selección de algas endémicas de Sinaloa, como Bioestimulantes de frijol en invernadero.....	39

Cuadro 5.-	Comparación de medias en concentración de macronutrientes en análisis foliar del experimento selección de algas endémicas de Sinaloa, como bioestimulantes de frijol en invernadero.....	40
Cuadro 6.-	Comparación de medias en altura de planta, diámetro de tallo y peso seco de follaje en selección de ácidos húmicos, como Bioestimulantes de frijol en invernadero.....	42
Cuadro 7.-	Comparación de medias en concentración de macronutrientes en análisis foliar del experimento selección de ácidos húmicos, como bioestimulantes de frijol en invernadero.....	44
Cuadro 8.-	Comparación de medias, en altura de planta, diámetro de tallo y peso seco de follaje en el experimento interacción de ácidos húmicos con extractos de algas en el crecimiento de frijol.....	46

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.-	Preparación de terreno e instalación de tratamientos en campo experimental de CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa.....	58
Anexo 2.-	Charolas de germinación y seguimiento a plántulas en invernadero.....	59
Anexo 3.-	Montaje del diseño experimental en macetas bajo condiciones de malla sombra en el CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa.....	60
Anexo 4.-	Riego y aplicaciones a plantas de frijol en campo.....	61

RESUMEN

El frijol es una leguminosa poco eficiente en la fijación biológica de nitrógeno, por lo que requiere de fertilización sintética para alcanzar altos rendimientos. Es de suma importancia reducir o eliminar los agroquímicos que se utilizan en su producción en campo. Una alternativa son los bioestimulantes entre los que están las algas que pueden aplicarse en forma de extractos y los ácidos húmicos, en este trabajo se tiene como objetivo general evaluar el efecto de extractos de algas y ácidos húmicos en el crecimiento del cultivo de frijol, para enfrentar los desafíos actuales de la seguridad alimentaria, la conservación del medio ambiente y que sean económicamente viables, el trabajo se realizó en laboratorio e invernadero, en el laboratorio se realizó la elaboración de extractos de diferentes especies de alga provenientes de las costas de Sinaloa, así también se obtuvieron ácidos húmicos a partir de leonardita de diferentes estados del país, en invernadero se evaluaron y se obtuvo como resultados. El tratamiento con mayor PSF follaje fue el tratamiento 3 *Ulva* DB con (6.34 g), pero este no presentó diferencias significativas entre los tratamientos 11 fertilización sintética (7.23 g), en la variable altura de planta el tratamiento extracto de *Ulva* DB con (65.75 cm) fue la mas alta junto con el tratamiento fertilización sintética con (62.5 cm). En el experimento de ácidos húmicos los tratamientos con mayor PSF fueron: el ácido húmico 3 tuvo (7.3 g) derivado de leonardita de Torreón dosis alta (AH3 leonard DA), y ácido húmico comercial dosis alta (AH comer DA con (6.83 g), y el tratamiento fertilización sintética con (7.23 g) donde no hubo diferencia estadística entre ellos. En las interacciones el tratamiento que obtuvo el mayor PSF de frijol fue el testigo fertilizado, seguido por el tratamiento de extracto de alga *Dictyota* con ácido húmico comercial 3 (*Dictyota* DA+AH comer 3 DA) (5.92 g). Las costas de Sinaloa contienen algas que pueden bioestimular el crecimiento y desarrollo del frijol y los ácidos húmicos obtenidos de leonardita presentan efecto bioestimulante en frijol comparable a los ácidos húmicos comerciales.

Palabras clave: Ácidos húmicos, bioestimulantes, extractos de algas, frijol.

ABSTRACT

Beans are a legume crop with low efficiency in biological nitrogen fixation; therefore, synthetic fertilization is commonly required to achieve high yields. Reducing or eliminating the agrochemicals used in field production is of great importance. One alternative is the use of biostimulants, including algae applied as extracts and humic acids. The general objective of this study was to evaluate the effect of algae extracts and humic acids on the growth of bean crops in order to address current challenges related to food security, environmental conservation, and economic viability. The study was conducted under laboratory and greenhouse conditions. In the laboratory phase, extracts from different algae species collected from the coasts of Sinaloa were prepared. Humic acids were also obtained from leonardite collected from different states of the country. Under greenhouse conditions, the treatments were evaluated and the following results were obtained. The treatment with the highest shoot dry weight (SDW) was Treatment 3, *Ulva* DB, with 6.34 g; however, it did not show significant differences compared to Treatment 11, synthetic fertilization, with 7.23 g. For plant height, the *Ulva* DB extract treatment showed the greatest height (65.75 cm), together with the synthetic fertilization treatment (62.5 cm). In the humic acid experiment, the treatments with the highest SDW were Humic Acid 3 (7.3 g), derived from leonardite from Torreon at a high dose (HA3 Leonardite HD), commercial humic acid at a high dose (Commercial HA HD, 6.83 g), and the synthetic fertilization treatment (7.23 g), with no statistical differences among them. Regarding treatment interactions, the fertilized control showed the highest bean SDW, followed by the treatment combining *Dictyota* algae extract with commercial humic acid 3 at a high dose (*Dictyota* HD + Commercial HA3 HD), with 5.92 g. The coasts of Sinaloa contain algae species capable of biostimulating bean growth and development, and the humic acids obtained from leonardite showed a biostimulant effect on beans comparable to that of commercial humic acids.

Key words: Humic acids, Biostimulants, Algae extracts, Beans.

GLOSARIO

Ácidos húmicos: Los ácidos húmicos son compuestos orgánicos naturales formados durante la descomposición de materia orgánica en el suelo. Se caracterizan por mejorar la fertilidad del suelo, favorecer la absorción de nutrientes y estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Auxinas: Grupo de fitohormonas que regulan procesos fisiológicos en las plantas, tales como la elongación celular, la formación de raíces adventicias, la dominancia apical y el desarrollo vascular, siendo el ácido indolacético (AIA) la principal auxina natural.

Bioestimulante: Sustancia o microorganismo que aplicado a las plantas o al suelo estimula procesos naturales que mejoran la eficiencia en la absorción de nutrientes, la tolerancia al estrés y el crecimiento y desarrollo vegetal.

Extracto de alga: Un extracto de alga es una sustancia obtenida a partir de algas marinas mediante procesos físicos o químicos, que concentra compuestos bioactivos como fitohormonas, aminoácidos, minerales y polisacáridos, utilizados principalmente para estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Fertilización: Práctica agrícola que consiste en la aplicación de nutrientes minerales y orgánicos al suelo o a las plantas, con el objetivo de suplir deficiencias nutrimentales, mejorar la fertilidad del suelo y favorecer el crecimiento y productividad de los cultivos.

Frijol: Planta herbácea de la familia leguminosas cultivada a nivel mundial por su rico aporte en nutrientes.

Invernadero: Estructura cerrada, cubierta con materiales transparentes que permite el control parcial o total de factores ambientales como temperatura, humedad, radiación y ventilación, con el fin de mejorar el crecimiento y rendimiento de los cultivos.

Materia orgánica: Es el conjunto de residuos de origen vegetal, animal o microbiano que se encuentran en diferentes etapas de descomposición en el suelo, contribuyendo al aporte de nutrientes, mejora de la estructura y aumento de la actividad biológica del suelo.

Microorganismos: Organismos de tamaño microscópico, como bacterias, hongos, actinomicetos, protozoarios y microalgas, que habitan en diversos ambientes y desempeñan funciones clave en los ciclos biogeoquímicos, la fertilidad del suelo y la promoción del crecimiento vegetal.

Nutrientes: Elementos químicos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, clasificados en macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S) y micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo y Cl), los cuales participan en procesos metabólicos, estructurales y fisiológicos.

1. INTRODUCCIÓN

En frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se utiliza fertilización sintética para obtener altos rendimientos. Es de suma importancia reducir o eliminar los agroquímicos que se utilizan en su producción en campo. Una alternativa es los bioestimulantes que son sustancias o microorganismos que, cuando se aplican a las plantas, mejoran su nutrición, fisiología y/o metabolismo, estimulando los procesos naturales de crecimiento y desarrollo, incrementando la tolerancia al estrés biótico y abiótico (Félix et al., 2023). A diferencia de los biofertilizantes, que aportan nutrientes específicos, y los fertilizantes, que proveen macro y micronutrientes en forma inorgánica, los bioestimulantes actúan mejorando la eficiencia de la planta en la absorción y utilización de nutrientes.

Los extractos de algas marinas, obtenidos de especies como *Ascophyllum nodosum*, *Laminaria digitata*, *Ecklonia máxima* y *Macrocystis pyrifera*, contienen una compleja mezcla de compuestos bioactivos, incluyendo fitohormonas (auxinas, citoquininas, giberelinas), polisacáridos, betainas, aminoácidos, vitaminas y minerales (Gonzalez et al., 2015). Estos compuestos promueven el crecimiento radicular, mejoran la eficiencia de la absorción de nutrientes, aumentan la resistencia al estrés hídrico y salino, así como la inducción de resistencias a enfermedades de las plantas. Por ejemplo, las auxinas estimulan el desarrollo de raíces laterales, mientras que las citoquininas promueven la división celular mientras que las citoquininas promueven la división celular y el desarrollo de brotes.

Las macroalgas poseen una rica composición bioquímica, incluyendo fitohormonas (auxinas, citoquininas, giberelinas), betainas, polisacáridos (alginatos, laminarina), manitol, aminoácidos, vitaminas y minerales. Estos componentes bioactivos confieren a los extractos de algas propiedades bioestimulantes, que varían según la especie de alga.

Por su parte, los ácidos húmicos, derivados de la descomposición de materia orgánica, son componentes esenciales de la fracción húmica del suelo y se encuentran comúnmente en materiales como el carbón natural y la leonardita. Aunque ambos contienen compuestos húmicos, la leonardita es una fuente más rica y activa en ácidos húmicos debido a su mayor grado de oxidación y contenido en grupos funcionales activos. Estas sustancias mejoran la estructura del suelo, promueven la retención de agua, estimulan la actividad microbiana y potencian la absorción de nutrientes esenciales por parte de las plantas (Helen Veobides Amador, 2018).

La combinación de extractos de algas y ácidos húmicos en aplicaciones agrícolas puede generar efectos sinérgicos al unir las ventajas fisiológicas de las algas con los beneficios estructurales y nutritivos de los ácidos húmicos. Esta interacción puede resultar en una mayor resistencia al estrés ambiental, un mejor crecimiento radicular y un aumento en la productividad del cultivo. Además, esta estrategia puede reducir significativamente la necesidad del uso de fertilizantes químicos, promoviendo prácticas agrícolas más limpias y rentables. Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar el efecto bioestimulante de diferentes especies de algas de Sinaloa y de los ácidos húmicos aplicados en cultivo de importancia económica como el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Guasave, Sinaloa.

2. ANTECEDENTES

Características generales del frijol y clasificación taxonómica

En la agricultura actual se observa una alta dependencia del uso de fertilizantes químicos para mantener la productividad de los cultivos. Sin embargo, esta práctica ha generado problemas como la degradación del suelo, contaminación y aumento en los costos de producción.

En el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), la baja disponibilidad de nutrientes y el manejo inadecuado de la fertilización limitan su crecimiento y rendimiento. Ante esta situación, surge la necesidad de evaluar alternativas sustentables que permitan mejorar el estado nutricional del cultivo sin afectar negativamente el medio ambiente.

Entre las opciones más estudiadas se encuentran los Bioestimulantes de origen natural, como las algas, que aportan compuestos promotores del crecimiento, numerosos estudios han demostrado los beneficios de las aplicaciones de extractos de algas en las plantas, tales mejoras se aprecian en la germinación, aumento en rendimiento, resistencia al estrés biótico y abiótico, mayor vida de anaquel de productos perecederos, entre otros. Las algas son especies con elevado contenido en fibra, macro y microelementos, aminoácidos, vitaminas y fitohormonas (INTAGRI, 2001).

La investigación se sustentó en el análisis de teorías y estudios científicos relacionados con el uso de bioestimulantes de origen natural en la agricultura, particularmente aquellos derivados de algas y de sustancias húmicas, así como en los fundamentos de la nutrición vegetal del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). La revisión de la literatura se organizó de lo general a lo particular, con el propósito

de proporcionar un marco conceptual que permitiera comprender la problemática planteada y sustentar el desarrollo experimental del proyecto.

Nutrición vegetal del frijol

La nutrición del frijol se basa en macronutrientes (N, P, K Mg, Ca, S), micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu, B) y materia orgánica, siendo crucial el Fósforo (P) para el desarrollo radical y la absorción de nutrientes, y el Nitrógeno (N) para el crecimiento vegetativo, aunque el frijol fija N atmosférico. En este contexto, la aplicación de bioestimulantes como los extractos de algas y los ácidos húmicos se presenta como una alternativa que complementa la fertilización tradicional, favoreciendo un mejor estado nutricional del frijol y contribuyendo a sistemas de producción más eficientes y sustentables.

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas más importantes en la nutrición humana ya que aporta energía y proteína, por lo que se busca mejorar los cultivos de este que son susceptibles al ataque de varias plagas y el control químico cada día se vuelve más costosos y menos amigable con el medio ambiente (Kumar).

Bioestimulantes en la agricultura

Los bioestimulantes agrícolas se definen como sustancias o microorganismos que, aplicados a las plantas o al suelo, estimulan procesos naturales con el fin de mejorar la eficiencia en la absorción y utilización de nutrientes, la tolerancia al estrés abiótico y la calidad del cultivo. A diferencia de los fertilizantes convencionales, los bioestimulantes no aportan nutrientes de manera directa en grandes cantidades, sino que actúan modulando procesos fisiológicos y metabólicos en las plantas.

Diversos estudios han demostrado que el uso de bioestimulantes contribuye a una agricultura más sostenible, al reducir la dependencia de insumos químicos y

minimizar los impactos negativos sobre el medio ambiente. Su aplicación se ha incrementado en sistemas agrícolas que buscan mejorar la productividad sin comprometer la salud del suelo ni la calidad de los recursos naturales. Según la European Biostimulants Industry Council (EBIC), los bioestimulantes son sustancias o microorganismos que, cuando se aplican a las plantas o al suelo, estimulan procesos naturales para mejorar la absorción de nutrientes, la eficiencia de los nutrientes, la tolerancia al estrés abiótico, la calidad de los cultivos, y más. Entre los tipos más comunes se encuentran los ácidos húmicos y fúlvicos, los extractos de algas, los microorganismos beneficiosos, y los aminoácidos (HORTITEC, 2025).

Extractos de algas como Bioestimulantes

Los extractos de algas marinas han sido ampliamente utilizados como bioestimulantes debido a su composición química rica en compuestos bioactivos. Entre estos compuestos se encuentran fitohormonas como auxinas, giberelinas y citoquininas, además de aminoácidos, polisacáridos, vitaminas y minerales, los cuales influyen de manera positiva en el crecimiento y desarrollo de las plantas. En el siglo XX se desarrollaron fertilizantes a base de algas. En la década de 1950 se identificaron compuestos específicos, como las fitohormonas, que desempeñan un papel clave en la estimulación del desarrollo vegetal. En las décadas de 1980 y 1990, con la creciente consciencia sobre la sostenibilidad y la necesidad de adoptar prácticas agrícolas más ecológicas, el interés en los bioestimulantes y con ellos en el extracto de algas experimentó un resurgimiento. Actualmente, en pleno siglo XXI, la investigación científica continúa avanzando y el uso de algas como uno de los componentes esenciales de numerosos bioestimulantes está cada vez más extendido y seguirá en alza según todos los expertos. Y es que sus propiedades casan a la perfección con la agricultura actual y futura (CROPTOLOGY, 2023). En el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), el uso de algas como bioestimulantes se ha asociado con una mejora en el vigor de las plantas y en la eficiencia de absorción de nutrientes, lo que contribuye a un desarrollo más uniforme y a un mejor estado nutricional.

Muchas especies de algas marinas, principalmente algas pardas, son ampliamente utilizadas en la agricultura como bioestimulantes vegetales, reguladores del crecimiento de las plantas, biofertilizantes o potenciadores metabólicos (Hong et al., 2007; Khan et al., 2009; Gupta & Abu-Ghannam, 2011; Turan & Köse, 2004). Existen muchas ventajas en el uso de extractos de algas marinas como estimulantes del crecimiento de las plantas, que incluyen tasas de germinación más altas, desarrollo del sistema de raíces, aumento del área foliar, calidad de los frutos y vigor de las plantas (Rayorath et al., 2008; Craigie, 2011; Vinoth et al., 2012a, b; Mattner et al., 2013; Vinoth et al., 2014). Además, las plantas tratadas con extractos de algas marinas tienen un mayor contenido de compuestos como clorofila y carotenoides, además de enzimas como amilasas.

Otras formas de aprovechar las algas son por medio de compostas adicionadas con algas marinas, ya que estabiliza los nutrientes con costos más bajos a través de la descomposición aeróbica de material orgánico por sucesivas comunidades microbianas. La calidad y características de la composta dependerá de la naturaleza de los elementos que la conformen, generalmente se utilizan residuos agrícolas que enriquecen la estructura de la misma, adicionando algas que en su proceso de elaboración equilibra las proporciones de C:N; esta proporción tiene cierta flexibilidad, pero la mayoría de los residuos terrestres se compostan utilizando una relación C:N de 25:1 a 35:1 (Bishop y Godfrey 1983; Bernal et al. 2009; Han et al. 2014).

Las investigaciones sobre macroalgas marinas en la agricultura son varias, Hernández en 2014 reportó que los extractos elaborados con el alga *Macrocystis pyrifera* son favorable para el desarrollo de plantas terrestres, Senthuran en 2019 demostró que los extractos de *Ascophyllum nodosum* y *Kappaphycus alvarezii* mejoraron la absorción de agua y nutrientes, lo que condujo en última instancia a la promoción del vigor general y el crecimiento de las plantas. La aplicación de

extractos de *A. nodosum* en maíz mostró que las hojas fueron capaces de absorber significativamente más Zn, Fe, B, Cu, Mo, S, Mg, Ca y Mn que los controles.

Ácidos húmicos y su función en el suelo y la planta

La aplicación de bioestimulantes a base de ácidos húmicos, incluye a materiales orgánicos aplicados a los cultivos con el fin de mejorar la absorción de nutrientes, estimular el crecimiento, mejorar la tolerancia al estrés y la calidad de los frutos (Jardin, 2015).

Los ácidos húmicos son los ácidos orgánicos solubles en agua presentes naturalmente en la materia orgánica del suelo. Los ácidos húmicos no son un compuesto único, sino más bien una colección de diferentes pesos moleculares compuestos con características similares.

Por lo general, se definen por el proceso a través del cual se aíslan, en lugar de por una estructura química particular. Ácido húmico proporciona una fuente de carbono edificio suelo. En comparación con otras materias orgánicas, Grow ácidos húmicos ofrecen más eficacia a largo plazo que no se disipa tan pronto como el estiércol, compost o turba. Debido a que el ácido húmico ya se descompone, no compite con las plantas para el nitrógeno como lo hace la composta incompletamente descompuesta. Además de composta y la turba son más bien descompuestos rápidamente por los microorganismos del suelo y mineralizada con muy poca formación de humus. Los ácidos húmicos proporcionan una mejor estructura del suelo durante años. (fertilab, s.f.)

Ácidos húmicos (AH)

Los ácidos húmicos son fracciones solubles de la materia orgánica del suelo, derivados de la descomposición de residuos vegetales y microorganismos, y han

sido estudiados desde principios del siglo XX debido a su capacidad para mejorar la fertilidad de suelos y la productividad de los cultivos. Inicialmente, su uso se centraba en la enmienda de suelos pobres, pero con el tiempo se descubrió que también ejercen efectos bioestimulantes directos sobre la fisiología de las plantas (Canellas & Olivares, 2014).

Durante las décadas de 1980 y 1990, investigaciones pioneras demostraron que los ácidos húmicos promueven la elongación celular, la formación de raíces laterales y la activación de enzimas metabólicas involucradas en la absorción de nutrimentos, sugiriendo un mecanismo de acción similar al de las auxinas naturales. Estas propiedades los convirtieron en herramientas importantes para aumentar la eficiencia en el uso de fertilizantes y mejorar la absorción de macro y micronutrientes en cultivos hortícolas (Nardi et al., 2002).

3. ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcances

- Evaluar el efecto de la aplicación de extractos de algas y ácidos húmicos sobre variables de crecimiento del cultivo de frijol, tales como altura de planta, número de hojas, biomasa y desarrollo radicular.
- Determinar la influencia de estos bioestimulantes en el estado nutricional del cultivo mediante el análisis de la concentración de nutrientes esenciales en tejido vegetal.
- Comparar la respuesta agronómica del frijol bajo diferentes tratamientos con extractos de algas y ácidos húmicos, identificando las alternativas con mayor potencial para mejorar el desarrollo del cultivo.
- Generar información científica y técnica que contribuya al uso de bioestimulantes como una estrategia sostenible para optimizar la productividad del frijol en las condiciones agroclimáticas de Guasave, Sinaloa.

Limitaciones

- Los resultados obtenidos estarán restringidos a las condiciones ambientales, edáficas y de manejo propias de la zona de estudio, por lo que su extrapolación a otras regiones deberá realizarse con precaución.
- La investigación se desarrollará durante un solo ciclo agrícola, lo que limita la evaluación de los efectos de los tratamientos bajo diferentes condiciones climáticas y temporadas de cultivo.
- La respuesta del cultivo puede verse influenciada por factores externos no controlables, como variaciones en temperatura, precipitación, incidencia de plagas o enfermedades.
- El estudio se enfocará en una variedad específica de frijol y en determinadas dosis de extractos de algas y ácidos húmicos, por lo que los resultados no necesariamente representan el comportamiento de otras variedades o niveles de aplicación.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) constituye uno de los cultivos de mayor importancia económica, social y alimentaria en México, debido a que forma parte esencial de la dieta de la población y representa una fuente importante de proteínas, carbohidratos, fibra, vitaminas y minerales. Además de su relevancia nutricional, este cultivo genera ingresos para miles de productores agrícolas, especialmente en regiones donde la agricultura es una actividad fundamental para el desarrollo económico local. En el estado de Sinaloa, y particularmente en el municipio de Guasave, el frijol ocupa una superficie considerable de siembra durante los ciclos agrícolas de otoño-invierno, convirtiéndose en un cultivo estratégico para la actividad agrícola regional.

Sin embargo, la producción de frijol enfrenta diversos desafíos relacionados con la disminución de la fertilidad de los suelos, el incremento de los costos de producción y la necesidad de adoptar prácticas agrícolas más sostenibles. El uso intensivo de fertilizantes químicos ha permitido incrementar los rendimientos agrícolas durante décadas; no obstante, su aplicación excesiva o inadecuada puede provocar efectos negativos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, además de incrementar los costos para los productores y generar impactos ambientales asociados a la contaminación de cuerpos de agua y la degradación de los ecosistemas.

En este contexto, surge la necesidad de buscar alternativas que permitan mejorar el crecimiento, desarrollo y estado nutricional de los cultivos mediante prácticas más amigables con el medio ambiente. Entre estas alternativas destacan los bioestimulantes agrícolas, dentro de los cuales los extractos de algas y los ácidos húmicos han cobrado gran interés debido a sus efectos potenciales sobre el metabolismo vegetal, la absorción de nutrientes, el desarrollo radicular y la tolerancia de las plantas a diferentes condiciones de estrés.

Los extractos de algas contienen compuestos bioactivos como fitohormonas, aminoácidos, polisacáridos, vitaminas y micronutrientes que pueden favorecer diversos procesos fisiológicos en las plantas. Por su parte, los ácidos húmicos son componentes naturales de la materia orgánica del suelo que contribuyen a mejorar la disponibilidad de nutrientes, estimular el crecimiento de raíces y optimizar la eficiencia en la absorción de elementos esenciales para el desarrollo vegetal. Diversos estudios han reportado resultados positivos derivados de la aplicación de estos productos en diferentes cultivos; sin embargo, la magnitud de la respuesta puede variar en función de factores como la especie vegetal, las condiciones edafoclimáticas, las dosis aplicadas y las prácticas de manejo agronómico.

En el caso específico del cultivo de frijol en Guasave, Sinaloa, existe información limitada acerca de los efectos que los extractos de algas y los ácidos húmicos pueden tener sobre el crecimiento vegetativo y el estado nutricional de las plantas bajo las condiciones particulares de la región. Esta falta de información dificulta la toma de decisiones por parte de productores y técnicos agrícolas respecto al uso eficiente de estos bioestimulantes como herramientas complementarias dentro de los programas de nutrición vegetal.

5. JUSTIFICACIÓN

La agricultura sostenible enfrenta el desafío de optimizar la producción de cultivos como el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), minimizando el impacto ambiental. Para ello una alternativa es la utilización de bioestimulantes que son sustancias o microorganismos que, cuando se aplican a las plantas, mejoran su nutrición, fisiología y/o metabolismo, estimulando los procesos naturales de crecimiento y desarrollo, incrementando la tolerancia al estrés biótico y abiótico. Entre los bioestimulantes se encuentran los extractos de algas y ácidos húmicos, las dosis y la interacción entre bioestimulantes es muy importante para observar efectos positivos en el crecimiento y la salud de las plantas, mientras que a dosis intermedias el impacto puede ser neutral o negativo y a altas dosis puede resultar tóxico. Esto resalta la importancia de una aplicación controlada de bioestimulantes para maximizar sus beneficios y mitigar posibles efectos adversos en los cultivos. Los beneficios potenciales que aporta al ámbito agrícola, científico y ambiental. En el aspecto social, los resultados obtenidos permiten ofrecer a los productores de frijol alternativas de manejo nutricional más eficientes y sustentables, contribuyendo al incremento de la productividad del cultivo y a la mejora de las condiciones de producción.

En los últimos años la utilización de extractos de algas como bioestimulantes vegetales ha ido en aumento debido a sus propiedades bioactivas que incrementa la capacidad de la planta para absorber nutrientes, estimular el crecimiento, protegerse de condiciones de estrés y mejorar la resistencia contra patógenos, (López et al., 2022; Hong et al., 2007, Van Oosten et al., 2017; El Boukhari et al., 2020).

Así mismo, desde el ámbito económico, el uso de algas y ácidos húmicos representa una opción para reducir la dependencia de fertilizantes químicos, lo cual puede traducirse en una disminución de los costos de producción y en una mayor eficiencia en el uso de insumos agrícolas. En cuanto al impacto ambiental,

la aplicación de Bioestimulantes naturales contribuye a la reducción de la contaminación del suelo y del agua, promoviendo prácticas agrícolas más amigables con el medio ambiente y alineadas con los principios de la agricultura sustentable.

Por otro lado, la ausencia de estudios específicos en las condiciones de Guasave representa una limitante para el aprovechamiento de estas tecnologías dentro de los sistemas de producción de frijol. En consecuencia, se plantea la necesidad de evaluar el efecto de los extractos de algas y los ácidos húmicos sobre variables relacionadas con el crecimiento y la nutrición del cultivo, con el propósito de generar información confiable que sirva de base para futuras recomendaciones de manejo.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo General

Evaluar el efecto bioestimulante de diferentes algas de Sinaloa y ácidos húmicos en el desarrollo vegetativo y productividad del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Guasave, Sinaloa.

6.2 Objetivos específicos

1. Determinar el potencial bioestimulante de diferentes especies de algas endémicas del estado de Sinaloa mediante la evaluación de su efecto sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo condiciones controladas de invernadero, con el fin de identificar las especies con mayor eficacia agronómica.
2. Comparar el efecto de los ácidos húmicos obtenidos a partir de leonardita con el de productos comerciales sobre variables de crecimiento y desarrollo del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero, a fin de determinar su eficiencia como promotores del crecimiento vegetal.
3. Evaluar la interacción entre las dosis óptimas de extractos de algas y ácidos húmicos sobre el crecimiento, desarrollo y estado nutricional del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo condiciones de invernadero, con el propósito de identificar posibles efectos sinérgicos que contribuyan a mejorar el desempeño fisiológico y agronómico del cultivo.

7. HIPÓTESIS

Los bioestimulantes ácidos húmicos y extractos de algas marinas reducen la aplicación del 50% de fertilizantes sintéticos.

8. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el efecto de la aplicación de extractos de algas y ácidos húmicos sobre el crecimiento y el estado nutricional del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo las condiciones agroclimáticas de Guasave, Sinaloa?

9. MARCO TEÓRICO

Cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y su importancia agronómica

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) constituye una de las leguminosas de mayor importancia económica y alimentaria en el mundo. Su cultivo representa una fuente esencial de proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales para millones de personas, particularmente en países en desarrollo. En México, además de su importancia nutricional, el frijol forma parte de los sistemas agrícolas tradicionales y contribuye significativamente a la seguridad alimentaria nacional.

La productividad del cultivo está influenciada por diversos factores, entre ellos la disponibilidad de nutrientes, las condiciones edafoclimáticas, el manejo agronómico y la presencia de factores de estrés biótico y abiótico. En los últimos años, la agricultura moderna ha buscado alternativas sostenibles que permitan incrementar la eficiencia productiva sin aumentar la dependencia de fertilizantes químicos, promoviendo el uso de bioestimulantes agrícolas como herramientas complementarias para mejorar el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Lopes et al., 2024).

Diversas investigaciones han demostrado que el empleo de bioestimulantes puede mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes, favorecer el crecimiento radicular y aumentar la tolerancia de las plantas frente a condiciones ambientales adversas (Roche et al., 2024).

Bioestimulantes agrícolas

Los bioestimulantes son sustancias o microorganismos capaces de estimular procesos fisiológicos en las plantas, mejorando la eficiencia nutricional, la calidad de los cultivos y la tolerancia al estrés sin actuar directamente como fertilizantes. Actualmente, los principales grupos de bioestimulantes incluyen sustancias húmicas, extractos de algas, hidrolizados proteicos, microorganismos benéficos y compuestos inorgánicos (Roche et al., 2024).

A diferencia de los fertilizantes convencionales, los bioestimulantes no aportan necesariamente cantidades significativas de nutrientes; su función principal consiste en optimizar los procesos metabólicos de la planta y mejorar la interacción entre el cultivo y el suelo. Esta característica ha generado un creciente interés en su utilización dentro de sistemas agrícolas sostenibles y de agricultura regenerativa (Singh et al., 2024).

Entre los bioestimulantes más utilizados a nivel mundial destacan los extractos de algas marinas y las sustancias húmicas, debido a la amplia evidencia científica que respalda sus efectos positivos sobre el crecimiento vegetal y la productividad agrícola.

Extractos de algas como bioestimulante

Los extractos de algas son productos obtenidos a partir de macroalgas marinas pertenecientes a diferentes grupos taxonómicos, incluyendo algas pardas, verdes y rojas. Estos extractos contienen numerosos compuestos bioactivos, tales como polisacáridos, aminoácidos, vitaminas, antioxidantes, fitohormonas y micronutrientes que participan en diversos procesos fisiológicos de las plantas (Singh et al., 2024).

Los mecanismos de acción de los extractos de algas están asociados principalmente con la regulación hormonal, la estimulación de la división celular y la mejora de la actividad fotosintética. Asimismo, estos productos promueven el desarrollo de raíces laterales y pelos absorbentes, incrementando la capacidad de absorción de agua y nutrientes (du Jardin, 2015).

Además, los extractos de algas han demostrado inducir mecanismos de tolerancia frente a diversos tipos de estrés ambiental, incluyendo sequía, salinidad, altas temperaturas y deficiencias nutricionales. Los compuestos bioactivos presentes en estos extractos favorecen la síntesis de metabolitos secundarios relacionados con la defensa vegetal y la protección celular frente a condiciones adversas (Lopez-Climent et al., 2024).

En el cultivo de frijol, la aplicación de bioestimulantes derivados de algas ha mostrado resultados positivos en variables relacionadas con el crecimiento, la actividad fisiológica y el rendimiento. Un estudio realizado por Kocira et al. (2020) reportó incrementos en parámetros bioquímicos y agronómicos del frijol común mediante la aplicación de extractos de algas y aminoácidos, demostrando el potencial de estos productos dentro de programas de manejo sostenible.

Sustancias húmicas y ácidos húmicos

Las sustancias húmicas son compuestos orgánicos complejos generados durante los procesos de humificación de residuos vegetales y animales. Estas sustancias constituyen una fracción importante de la materia orgánica del suelo y se clasifican en huminas, ácidos fúlvicos y ácidos húmicos.

Los ácidos húmicos representan la fracción más estudiada debido a sus efectos benéficos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Su estructura molecular posee una elevada capacidad de intercambio catiónico, permitiendo la retención y disponibilidad gradual de nutrientes esenciales para las plantas (FAO, 2005).

Entre los principales beneficios agronómicos de los ácidos húmicos destacan la mejora de la estructura del suelo, el incremento de la retención de humedad, la estimulación de la actividad microbiana y el aumento de la eficiencia en la absorción de nutrientes. Asimismo, se ha demostrado que estos compuestos pueden ejercer efectos directos sobre el crecimiento vegetal mediante la estimulación del desarrollo radicular y la regulación de procesos metabólicos asociados con la nutrición mineral (Canellas et al., 2024).

Diversos estudios han documentado que los ácidos húmicos favorecen la absorción de fósforo, calcio, hierro y otros nutrientes esenciales, contribuyendo a mejorar el estado nutricional de los cultivos y aumentando la eficiencia de los fertilizantes aplicados al suelo (FAO, 2005).

Leonardita como fuente de ácidos húmicos

La leonardita es una fuente natural altamente concentrada de sustancias húmicas derivada de depósitos de lignito oxidado. Debido a su elevado contenido de ácidos húmicos y fúlvicos, constituye una de las materias primas más utilizadas para la fabricación de productos bioestimulantes comerciales.

Los productos derivados de leonardita presentan una alta estabilidad química y una importante capacidad para mejorar las propiedades del suelo y la nutrición vegetal. Investigaciones recientes han demostrado que los ácidos húmicos obtenidos de leonardita pueden estimular el crecimiento radicular, incrementar la actividad fotosintética y mejorar la productividad de diversos cultivos agrícolas (Canellas et al., 2024).

La comparación entre fuentes comerciales y ácidos húmicos extraídos de leonardita resulta de gran interés científico debido a la necesidad de identificar alternativas económicamente viables y con alta eficiencia agronómica para los productores agrícolas.

Interacción entre extractos de algas y ácidos húmicos

El uso combinado de bioestimulantes ha adquirido relevancia debido a la posibilidad de generar efectos sinérgicos sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. Mientras los extractos de algas aportan compuestos bioactivos con actividad hormonal y antioxidante, los ácidos húmicos favorecen la absorción de nutrientes y el desarrollo radicular.

La combinación de ambos productos puede potenciar procesos fisiológicos relacionados con la fotosíntesis, la absorción de nutrientes y la tolerancia al estrés ambiental. Estudios recientes en frijol han demostrado que los ácidos húmicos pueden incrementar el desarrollo radicular y la productividad cuando se combinan con otros promotores del crecimiento vegetal, sugiriendo la existencia de efectos complementarios que favorecen el desempeño agronómico del cultivo (Azevedo et al., 2024).

Asimismo, se ha reportado que los extractos de algas y las sustancias húmicas contribuyen a mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes mediante el incremento del área radical y la disponibilidad de elementos minerales en la rizosfera (Roche et al., 2024).

Por lo anterior, resulta necesario evaluar la interacción entre ambos bioestimulantes en condiciones controladas de invernadero para determinar su efecto sobre el crecimiento y estado nutricional del frijol, particularmente bajo las condiciones agroclimáticas de Guasave, Sinaloa.

10. METODOLOGÍA

Ubicación del sitio experimental

El proyecto se realizó en el invernadero y el laboratorio de nutrición vegetal del Instituto politécnico Nacional y el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional CIIDIR Sinaloa.

Recolección e identificación de algas

La recolección de algas se realizó en las zonas costeras de Sinaloa. La identificación de las algas se realizó usando un catálogo de macroalgas de las lagunas costeras de Sinaloa.

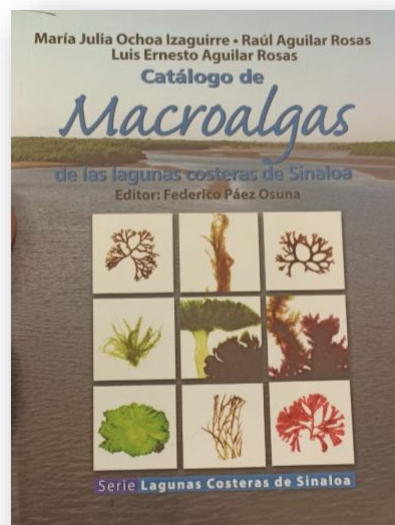


Figura 1. Manual de identificación de macroalgas de las lagunas costeras de Sinaloa.

Los autores reportan 37 géneros de distintas macroalgas de las lagunas costeras de Sinaloa pertenecientes a diferentes grupos, algas rojas (Rhodophyta), pardas

(Phaeophyceae), y verdes (Chlorophyta) se identificaron las siguientes algas *Macrocystis spp*, *Dictyota.Spp*, pertenecen a las algas pardas, *Gracilaria.Spp*, algas rojas, *Ulva.Spp*, *Codium.Spp*, algas verdes (Ochoa-Izaguirre et al., 2007).

Extracción de compuestos bioactivos de algas marinas

El extracto de alga se preparó según el método de Rama Rao (1990) consiste en la extracción de metabolitos con agua a presión y temperatura. El polvo de *Macrocystis spp*, *Dictyota.Spp*, *Gracilaria.Spp*, *Ulva.Spp*, *Codium.Spp*, se tamizó con un tamiz de malla fina y se depositan 50 g en un matraz Erlenmeyer aforado a 1 litro y posteriormente se coloca en una autoclave a condiciones de 100°C, 12 psi por 10 minutos. Posteriormente se recolecta el extracto del alga, se filtró con papel Whatman con una bomba de vacío para separar sólidos, posteriormente La solución madre 5% se guardó en refrigeración a 4°C.

Extracción y separación de ácidos húmicos

La International Humic Substances Society (IHSS) propone un protocolo estandarizado para la extracción y separación de ácidos húmicos, que consiste en:

1. Descarbonatación inicial

Tratamiento del suelo/sedimento con HCl diluido para remover carbonatos.

2. Extracción alcalina

Suspensión del material en NaOH 0.1 M o KOH bajo atmósfera inerte (N₂), agitado por 12–24 h.

Se obtiene el extracto alcalino que contiene huminas insolubles, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos.

3. Separación por precipitación ácido-base

Ajustar el extracto a pH 1 con HCl para precipitar ácidos húmicos (AH).

Los ácidos fúlvicos (AF) permanecen en solución.

4. Purificación

Lavado del precipitado de AH.

Diálisis para remover sales y cationes intercambiables.

5. Secado final

Liofilización o secado controlado a baja temperatura.

Cuantificación de ácidos húmicos

La cuantificación de los ácidos húmicos se realizó siguiendo el método descrito por Sánchez-Monedero et al. (1996), el cual se basa en una extracción alcalina y posterior precipitación ácida de las fracciones húmicas. Para ello, las muestras secas y tamizadas se sometieron a una extracción con NaOH 0.1 M bajo atmósfera inerte, manteniendo agitación constante durante 12 horas para asegurar la solubilización completa de las sustancias húmicas. El sobrenadante obtenido se acidificó hasta pH 1.0 con HCl 6 M, permitiendo la precipitación selectiva de los ácidos húmicos. La suspensión se dejó reposar durante 24 horas para asegurar la completa separación de las fracciones húmicas. Posteriormente, el precipitado se recuperó por centrifugación, se lavó con agua destilada para eliminar sales residuales y se secó a 60 °C hasta peso constante. Finalmente, el contenido de ácidos húmicos se expresó en base a peso seco de la muestra original, siguiendo los criterios estandarizados por la International Humic Substances Society (IHSS).

Análisis fisicoquímico y nutrimental de ácidos húmicos y extracto de alga

Para evaluar la calidad de la de composta y extracto se determinó mediante la Norma Oficial Mexicana 021 SEMARNAT 2000. el pH y la conductividad eléctrica (Ds m⁻¹) se midió de forma directa con un potenciómetro marca Hanna® por el método AS-02 para ph y el porcentaje de materia orgánica a través del contenido del carbono orgánico por el método de Walkley y Black (1934) según el método AS-07 el análisis de fósforo se realiza por el método de Olsen *et al.*, (1954) correspondiente al AS-10 de la Norma Oficial Mexicana, el análisis nutrimental (K, Ca,, Mg, Na) mediante el método AS-12 con acetato de amonio (NOM-021) y la determinación de nitrógeno total por el método de Kjeldahl según la (NOM-021).

Determinación de materia orgánica

Para calcular el % se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ C orgánico} = \frac{B - T}{g \text{ (N)} (0.39) m c f}$$

Donde:

B= volumen de sulfato ferroso gastado para valorar el testigo (mL).

T= volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (mL).

N= normalidad exacta del sulfato ferroso (valorar por separado al momento de analizar las muestras).

g= peso de la muestra empleada (g).

mcf = factor de corrección de humedad.

$$\% \text{ Materia orgánica} = \% \text{ C orgánico} \times 1.724$$

Análisis de fósforo

Se analizó contenido de fósforo mediante el método AS-10, por el procedimiento de Olsen y colaboradores. Se pesó una muestra de 2.5 g en recipientes de plástico con tapa y se le agregó 50 ml de una solución extractora de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) 0.5 M ajustada a un pH=8.5 con hidróxido de sodio (NaOH) 1M, posteriormente se puso en agitación durante 30 minutos en agitador HEBERBACH® y se filtró a través de papel filtro Whatman No. 42. Posteriormente, se tomó una alícuota de 5 ml, se pasó a un matraz volumétrico de 50 ml y se agregó 5ml de solución reductora que está compuesta de ácido sulfúrico, H_2SO_4 (14 N) molibdato de amonio $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$, Tartrato de antimonio y potasio al 5% $\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$, y ácido ascórbico se agitó y se aforó a 50 ml con agua destilada y se dejó reposar 30 minutos. Se preparó una curva de calibración con patrones (0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6 y 0.8 mg L⁻¹ de P) así como blancos a partir de alícuotas de solución extractora más los reactivos que se le agregaron a las muestras.

Se tomaron lecturas de datos en un espectrofotómetro de UV visible marca GENESYS® a 882 nm después de leer la curva de calibración se realizaron los cálculos empleando la siguiente fórmula.

$$P \text{ (mg K-1 de muestra)} = CC \times V_i/p \times V_f/a$$

Donde:

CC=mg L⁻¹ de P en la solución. Se obtiene graficando la curva de calibración (absorbancia contra mgL⁻¹) e interpolando en la misma, los valores de absorbancia de las muestras analizadas a las cuales previamente se les ha restado el valor promedio de los blancos, o por medio de una regresión simple.

V_i = volumen de la solución extractora adicionada.

P= peso de la muestra de composta.

V_f = volumen final de la solución colorimétrica a leer.

a = alícuota de la muestra empleada para la cuantificación.

Análisis nutrimental de K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu y Mn.

Método AS-12, con acetato de amonio. Se emplea una solución saturante de acetato de amonio 1N con pH De 7 la cual se agregó a una muestra de 5 g, se agitó durante 10 minutos, se centrifugó a 2500 rpm, durante 10 min y se filtró el sobrenadante en un vaso de precipitado, este paso se repite 3 veces y finalmente se aforo a 100 ml con la solución de acetato de amonio. Posteriormente se hicieron las respectivas diluciones con agua destilada para determinar la concentración de Ca²⁺, Mg²⁺ Fe, Zn, Mn y Cu por espectrofotometría de absorción atómica marca Varian® modelo 50B y para K⁺ espectrofotometría de emisión de flama marca Buck Scientific®.

Experimento 1. Selección de los mejores extractos de algas nativas como bioestimulante en frijol en condiciones de invernadero.

El primer experimento se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero se utilizaron cuatro géneros de algas y una comercial como comparativo además de dos testigos uno con solamente agua y otro con fertilización sintética, se aplicaron dos dosis por cada tratamiento a excepción de los testigos obteniendo así 12 tratamientos con 4 repeticiones en un diseño completamente al azar. La unidad experimental fueron una maceta con un volumen de 3 L de sustrato suelo: Peat Most relación 1:1 en cada maceta se sembraron 4 semillas donde al germinar se dejaron solo 2 plantas en cada maceta, las aplicaciones de los tratamientos fueron a los 15, 25 y 35 DDS. Las variables de respuesta se evaluaron a los 50 días después de la siembra e inicio de floración.

Cuadro 1. Descripción de tratamiento en experimento de selección de extractos de algas.

Núm. de tratamiento	Tratamiento	Descripción de Tratamientos
1	<i>Macrocystis</i> DB	Extracto de alga <i>Macrocystis</i> 0.21 g dosis baja
2	<i>Macrocystis</i> DA	Extracto de alga <i>Macrocystis</i> 0.33 g dosis alta

3	<i>Ulva</i> DB	Extracto de alga <i>Ulva</i> 0.21 g dosis baja
4	<i>Ulva</i> DA	Extracto de alga <i>Ulva</i> 0.33 dosis alta
5	<i>Dictyota</i> DB	Extracto de alga <i>Dictyota</i> 0.21 g dosis baja
6	<i>Dictyota</i> DA	Extracto de alga <i>Dictyota</i> 0.33 dosis alta
7	<i>Gracilaria</i> DB	Extracto de alga <i>Gracilaria</i> 0.21 g dosis baja
8	<i>Gracilaria</i> DA	Extracto de alga <i>Gracilaria</i> dosis alta
9	Alga Comer. DB	Alga comercial 3 ml dosis baja
10	Alga Comer. DA	Alga comercial 5 ml dosis alta
11	Testigo (fert.)	Fertilización sintética
12	Testigo (agua)	Solamente agua

Experimento 2: Comparación de ácidos húmicos de leonardita con comerciales en el crecimiento de plántulas de frijol en invernadero.

En invernadero se utilizaron dos dosis DB y DA (baja y alta) de ácidos húmicos por cada tratamiento, se evaluaron 3 ácidos húmicos diferentes y uno comercial como comparativo, además de dos testigos uno con solamente agua y otro con fertilización sintética, obteniendo así 10 tratamientos con cuatro repeticiones en un diseño completamente al azar. La unidad experimental fue una maceta con un volumen de 3 L de sustrato suelo: Peat Most relación 1:1 en cada maceta se sembraron 4 semillas para dejar 2 plantas en cada maceta, las aplicaciones de los tratamientos fue 15, 25 y 35 DDS. Las variables de respuesta se evaluaron 50 días después de la siembra en inicio de floración.

Se tomaron las mismas variables de respuesta que el experimento anterior.

Cuadro 2. Descripción de tratamientos en experimento selección de ácidos húmicos.

Núm. de trat.	Tratamiento	Descripción de Tratamiento
1	AH1 Coha. DB	Ácido húmico1 de Coahuila (3 ml) dosis baja
2	AH1 Coha. DA	Ácido húmico1 de Coahuila (4 ml) dosis alta
3	AH2 S.L.P. DB	Ácido húmico2 de San Luis Potosí (3 ml) dosis baja
4	AH2 S.L.P. DA	Ácido húmico2 de San Luis Potosí (4 ml) dosis alta
5	AH3 leonard DB	Ácido húmico3 de Torreón (3 ml) dosis baja
6	AH3 leonard DA	Ácido húmico3 de Torreón (4 ml) dosis alta
7	AH Comer DB	Ácido húmico comercial (3 ml) dosis baja
8	AH Comer DA	Ácido húmico comercial (4 ml) dosis alta
9	Testigo (fer.)	Fertilización sintética (1 g)
10	Testigo (agua)	Solamente agua

AH1 Leonardita 1, Monclova, Coahuila, México

AH2 Leonardita 2, San Luis Potosí, México

AH3 Leonardita 3, Torreón, Coahuila, México

Experimento 3: Evaluación de la interacción de la mejor dosis de extractos de algas y ácidos húmicos en plántula de frijol en condiciones de invernadero.

Terminados los experimentos 1 y 2 con los dos mejores extractos de algas y las mejores dosis de ácidos húmicos se evaluaron la interacción de estos en invernadero. Los tratamientos fueron los siguientes:

Cuadro 3. Descripción de Tratamientos en interacción de extractos de algas y ácidos húmicos como promotores de crecimiento en frijol.

Núm. de tratamiento	Tratamientos	Descripción de Tratamientos
----------------------------	---------------------	------------------------------------

1	<i>Ulva</i> DB+AH1 Coah DA	Extracto de alga <i>Ulva</i> DB más ácido húmico1 Coahuila DA
2	<i>Ulva</i> DB+AH comer DA	Extracto de alga <i>Ulva</i> DB más ácido húmico comercial DA
3	<i>Dictyota</i> DA+AH1 Coah DA	Extracto de alga <i>Dictyota</i> DA más ácido húmico1 Coahuila DA
4	<i>Dictyota</i> DA+AH comer DA	Extracto de alga <i>Dictyota</i> DA más ácido húmico comercial DA
5	Testigo (fert.)	Fertilización sintética
6	Testigo (agua)	Solamente agua



Figura 2. Inicio de desarrollo de plantas de frijol en experimento.



Figura 3. Aplicación de los tratamientos de extractos de algas y ácidos húmicos.

Variables evaluadas en planta.

Las variables de respuesta que se midieron al finalizar el experimento y son: peso seco de follaje, peso seco de raíces, altura de planta, grosor de tallo, volumen de raíces, y análisis foliar nutrimental. Para la comparación de medias y el análisis estadístico correspondiente se empleará el software Statistical Analysis System (SAS).

Altura de planta.

Para medir la altura de planta, se utilizó una regla graduada en el total de plantas, considerando como altura de la planta la longitud comprendida desde la superficie del sustrato hasta el punto vegetativo más alto (ápice).

Grosor de tallo.

Mediante un vernier se midió la base del tallo de cada planta.

Peso seco de follaje

Se cortarán las plantas de la base del tallo y se depositarán en sobres de papel previamente etiquetados y se secaron a 70 grados en un horno marca FELISA® por 72 hr y se pesaran en una balanza granataria digital OHAUS®.



Figura 4. Medición de diámetro de tallo y altura de planta.

Análisis nutrimental de la planta: mediante la técnica de (Alcantar y Sandoval 1999). Para conocer la asimilación de nutrientes de los diferentes tratamientos se hizo un análisis de la parte foliar, se tomaron las muestras y se midieron las concentraciones de nutrientes como el Nitrógeno total, Fosforo total, Potasio, Calcio, magnesio, hierro, Zinc, Cobre y manganeso.

Una vez teniendo las muestras del follaje, se procesaron por medio de un molino eléctrico marca Thomas® y se utilizaron para determinar los nutrientes que hay en estas utilizando diferentes técnicas.

Determinación de nitrógeno total

El primer paso para la determinación de Nitrógeno fue hacer una digestión húmeda en las muestras y se realizó la determinación por el Método Kjeldahl. La digestión húmeda para este nutrimento consiste en pesar 0.1 g de muestra de hoja seca y molida; el material se colocó en un matraz Kjeldahl y luego se adiciono 1.5 mL de la mezcla de ácidos sulfúrico-salicílico. Se mezclaron los reactivos junto con la muestra, para homogenizar el material a digerir y se dejó reposar por 24 h. Después se adiciono 0.2 g de la mezcla de sulfatos (Na_2SO_4 , selenio metálico y CuSO_4) y se colocó en el digestor, se calentó ligeramente a una temperatura controlada por 5 min; posteriormente, se aumentó la temperatura hasta observar el vire de color en la muestra de negro a verde oscuro (temperatura no mayor a 360°C). Una vez que la solución tenga una coloración verde clara (aspecto acuoso); se continuó calentando por 1 h más hasta obtener un volumen aproximado de 3 mL. Al finalizar la digestión se dejó enfriar las muestras digeridas y se agregaran 10 mL de agua destilada.

La solución digerida, se pasó al equipo de destilación, se adicionarán 10 mL de NaOH al 50% y se empezó el calentamiento. Al destilado se le agregaron 20 mL de solución de ácido bórico al 4% más 0.2 mL (3-5 gotas) del indicador verde de bromocresol-rojo de metilo, hasta alcanzar un volumen aproximado de 50 mL a la salida del refrigerante. Posteriormente se tituló cada muestra con la solución de H_2SO_4 al 0.05 N, hasta que se tuvo un vire de color a levemente rosado. Al mismo tiempo se realizó una titulación a una muestra blanco, anotando los mL gastados en cada muestra para realizar los cálculos correspondientes. Por último, para calcular el porcentaje se utilizó la siguiente formula:

$$\%N_{total} = (mL\ H_2SO_4)(N\ H_2SO_4) \left(\frac{1.4}{0.1g\ de\ muestra} \right) \quad N\ H_2SO_4 = \text{Normalidad } H_2SO_4$$

Determinación de fósforo

Se pasó a una alícuota de 1.0 mL del filtrado a un matraz volumétrico de 25 mL, mediante el método de Vanadato-Molibdato amarillo. Posteriormente se agregaron 0.5 mL de ácido nítrico (1:2 de agua destilada), 0.5 mL de solución de vanadato de amonio y 0.5 mL de solución de molibdato de amonio. Una vez agregados los reactivos a la solución de filtrado, se aforó con agua destilada a la marca de 25 mL, se agitó y se dejó reposar por 30 min. Al transcurrir ese tiempo, la solución se pasó a tubos de colorímetro y se tomó la absorbancia en el espectrofotómetro de luz UV visible a 470 nm. (Olsen et al., 1953)

Determinación de potasio.

Los materiales filtrados obtenidos mediante la digestión húmeda para fósforo, también se utilizó para la determinación de potasio. Para ello, se tomó 1 mL de la solución a matraces volumétricos de 50 mL y fueron aforados con agua destilada. De esta solución se tomó directamente la lectura de las muestras en porcentaje de transmitancia.

Se utilizó el método de emisión de llama-flamometría. Previo a la lectura el equipo de flamometría se ajustó con las curvas de calibración 5, 15, 20, 25 y 30 ppm con longitudes de onda de 766.5 nm. Los cálculos se hicieron en base a la curva de calibración obtenida tomando en cuenta la siguiente fórmula:

$$\% K = \frac{(Lectura\ de\ transmitancia)(Vol.\ Digestion)(Vol.\ Dilusion)(100)}{(Pendiente)(Peso\ de\ la\ muestra\ (g))(Alícuota)}$$

Determinación de calcio y magnesio.

A partir de la solución obtenida después de la digestión para fósforo, se colocaron alícuotas de 1 mL en matraces volumétricos de 25 mL y para diluirse fueron aforados con agua destilada. De esta misma, se realizó una segunda dilución, la cual consiste en colocar alícuotas de 1 mL en matraces volumétricos de 10 mL, a los cuales se le agregó 1 mL del reactivo óxido de lantano y se llevó al volumen final con agua destilada. Serán bien mezcladas y después se hicieron los ajustes correspondientes al espectrofotómetro de absorción atómica (Spectr AA, 50B, marca Varian) tomando en cuenta la escala de absorbancia. Los cálculos se hicieron mediante la siguiente fórmula:

$$\% Ca, Mg = \frac{(Absorbancia)(Vol. Digestion)(Vol. Dilucion)(100)}{(Pendiente)(Peso de la muestra(gr))(Alícuota)}$$

Determinación de fierro, manganeso, zinc y cobre.

De la solución anterior también, proveniente de la digestión húmeda realizada para la determinación del fósforo, ya filtrada se tomó directamente (sin realizar diluciones), las lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica, previamente se utilizó una curva de calibración con las concentraciones siguientes: para Fierro (Fe) se utilizó de 1-10 ppm, Manganeso (Mn) 1-10 ppm, Cobre (Cu) 1-5 ppm y para Zinc (Zn) se usó la concentración de 0.1-1.3 ppm. Los cálculos se hicieron mediante las curvas de calibración, utilizando un factor obtenido de la pendiente, considerando siempre las diluciones hechas durante la determinación de cada micronutriente, y se obtuvieron los resultados en base a la siguiente fórmula:

$$\% Fe, Mn, Cu y Zn = \frac{(Absorbancia)(Vol. digestion)(100)}{(Pendiente)(Peso de la muestra(gr))(Alícuota)}$$



Figura 5. Digestiones acidas de tejido vegetal para análisis nutrimental foliar en equipo de espectrofotómetro de absorción atómica.

11. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primer experimento. Selección de mejores algas endémicas de Sinaloa como bioestimulantes en cultivo de frijol en invernadero.

En peso seco de follaje

El tratamiento con mayor peso seco de follaje fue el tratamiento 11 fertilización sintética (7.23 g), pero este no presentó diferencia significativas entre los tratamientos 3 *Ulva* DB (3.34 g), seguido por el tratamiento 6 *Dictyota* DA (3.99 g), que presentó diferencia estadística con los dos anteriores, los tratamientos 7 y 8 (*Gracilaria* DA y DB)con (1.19 g, 2.74 g) presentaron más bajo peso de seco de follaje comparable al testigo Agua (2.93 g) incluso el tratamiento 7 *Gracilaria* DB (1.19 g) presentó significativamente menor peso que el tratamiento testigo (agua), estos resultados se presentan en el siguiente Cuadro #4.

Altura de planta y diámetro de tallo

Los tratamientos con mayor altura de planta (65.75 cm) y diámetro de tallo (6.34 mm) fueron *Ulva* DB, *Dictyota* DA con (53.5 cm) (3.99 mm) en diámetro de tallo, el tratamiento testigo fertilización sintética no presentó diferencias estadísticas, Los tratamientos con menor altura de planta (40 cm) y diámetro de tallo (1.1 mm) fueron *Gracilaria* (DB y DA) y testigo (agua). Hernández *et.al.*, (2014) Obtuvieron en sus resultados que los extractos elaborados con el alga *Macrocystis* son favorables para el desarrollo de plantas terrestres; comparado con otros estudios que coinciden que esto se debe a la capacidad que tienen los extractos para incrementar la absorción de minerales. Estos resultados se encuentran el Cuadro #4.

Todos los tratamientos a los que se le aplicaron los extractos de algas tuvieron un efecto positivo respecto al testigo negativo (agua), los extractos de algas no

solamente aportan una pequeña cantidad de nutrientes, sino también pueden traer consigo compuestos orgánicos como lípidos, proteínas, carbohidratos, carotenoides y fitohormonas (Romero *et al.* 2022)

Cuadro 4. Comparación de medias en altura de planta, diámetro de tallo y peso seco de follaje en el experimento, selección de algas endémicas de Sinaloa, como Bioestimulantes de frijol en invernadero.

Núm. de tratamiento	Tratamiento	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Peso seco de follaje (g)
1	<i>Macrocystis</i> DB	53bc	4.51abc	3.25d
2	<i>Macrocystis</i> DA	47.50cde	4.50abc	2.75de
3	<i>Ulva</i> DB	65.75a	5.25a	6.34ab
4	<i>Ulva</i> DA	50.00cde	4.25abc	3.50cd
5	<i>Dictyota</i> DB	51.50cd	4.00bcd	3.23d
6	<i>Dictyota</i> DA	53.50bc	4.50abc	3.99cd
7	<i>Gracilaria</i> DB	40.00e	3.50cd	1.19e
8	<i>Gracilaria</i> DA	41.25de	3.00d	2.74de
9	Alga Comer. DB	51.25cd	4.12bc	2.60de
10	Alga Comer. DA	52.50bc	4.75ab	3.11de
11	Testigo (fert.)	62.50ab	5.00ab	7.23a
12	Testigo (agua)	41.25de	3.50cd	2.93d

Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadística, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Concentración de macronutrientes en el follaje de frijol

La mayor concentración de nitrógeno la presentaron el tratamiento con fertilización sintética, (3.55%) los extractos de alga *Ulva* dosis alta (2.98%) y baja (3.46%),

Dictyota dosis alta (3.27%) y baja (3.26%) y los tratamientos con menor concentración de nitrógeno fueron el testigo agua (2.3%) y extracto de alga *Gracilaria* dosis alta (1.89%), en concentración de fósforo los que presentaron mayor concentración en el follaje fueron los extractos de *Dictyota* DA (0.76%), *Ulva* DB (0.73%) y fertilización sintética (0.69%), el tratamiento con menor concentración de fósforo fueron el testigo agua (0.6%) y extractos de alga *Gracilaria* (0.63%). En concentración de potasio y magnesio fueron muy similares la absorción y las mayores concentraciones el testigo fertilización sintética (2.07%) y los extractos de alga de *Dictyota* DA (2.04%) y *Ulva* DB (1.97%) estos resultados se pueden observar en el Cuadro #5.

Esto nos indica que a pesar de que los extractos de algas aportan muy bajas cantidades de nutrientes directamente, ayudan a que la planta logre una mayor absorción. En un estudio realizado Cole *et. al.*, (2016) demostraron que el alto contenido total de nitrógeno de las compostas a base de algas marinas tiene un efecto positivo en el crecimiento de la caña de azúcar donde se demuestra que las compostas de algas pueden utilizarse como una fuente alternativa de nitrógeno para la producción de cultivos agrícolas. Por otra parte, Hernández *et. al.*, (2014) Obtuvieron en sus resultados que los extractos elaborados con el alga *Macrocystis* son favorables para el desarrollo de plantas terrestres; comparado con otros estudios que coinciden que esto se debe a la capacidad que tienen los extractos para incrementar la absorción de minerales. Estos extractos y compostas de algas sirven como bioestimulantes en las plantas de tomate lo que nos indica que si es posible la disminuir la aplicación de fertilizantes químicos en el cultivo.

Cuadro 5. Comparación de medias en concentración de macronutrientes en análisis foliar del experimento selección de algas endémicas de Sinaloa, como bioestimulantes de frijol en invernadero.

Núm. de Trat.	Tratamiento	%N	%P	%K	%Ca	%Mg
1	<i>Macrocystis</i> DB	2.66de	0.63cd	1.45cde	1.59abcd	0.47abc
2	<i>Macrocystis</i> DA	3.05bcd	0.66cd	1.87ab	1.56bcde	0.45bc
3	<i>Ulva</i> DB	3.46ab	0.73ab	1.97ab	1.73ab	0.56ab
4	<i>Ulva</i> DA	2.98cd	0.69abc	1.66abcde	1.44cdef	0.48abc
5	<i>Dictyota</i> DB	3.28abc	0.66cd	1.82abcd	1.49cdef	0.48abc
6	<i>Dictyota</i> DA	3.27abc	0.76a	2.04a	1.35ef	0.60a
7	<i>Gracilaria</i> DB	2.84cde	0.63cd	1.58bcde	1.43def	0.48abc
8	<i>Gracilaria</i> DA	1.89f	0.68bcd	1.85abc	1.33f	0.47abc
9	Alga Comer.DB	3.07bcd	0.63cd	1.25e	1.66abc	0.52abc
10	Alga Comer.DA	2.96cd	0.68bcd	1.61bcde	1.74ab	0.47abc
11	Testigo (fert.)	3.55a	0.69abc	2.07a	1.81a	0.57ab
12	Testigo (agua)	2.38e	0.61d	1.43de	1.40def	0.43c

Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadística, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).



Figura 6. Comparación de los tratamientos fertilización sintética con los tratamientos extracto de alga *Ulva* DB y el *Dictyota* DA.

Segundo experimento selección de ácidos húmicos en el crecimiento de frijol

Peso seco de follaje de frijol

Los tratamientos con mayor peso seco de follaje fueron tratamiento 6: ácido húmico 3 derivado de leonardita dosis alta (AH3 leonard DA), con (7.3 g) y el tratamiento 8 ácido húmico comercial dosis alta (AH comerDA) con (6.87g) y el testigo con fertilización sintética (7.23g). Los tratamientos con menor producción de peso seco de follaje fueron, tratamiento 12 testigo agua (2.93g), AH1 Coha. DB (1.75g), AH1 Coha. DA (3.07g), AH2 S.L.P. DB (3.12g), los cuales las leonardita proviene de Cohauila y San Luis Potosi. La aplicación de bioestimulantes a base de ácidos húmicos, incluye a materiales orgánicos aplicados a los cultivos con el fin de mejorar la absorción de nutrientes, estimular el crecimiento, mejorar la tolerancia al estrés y la calidad de los frutos (Jardin, 2015).

Altura de planta y diámetro de tallo

En diámetro de tallo no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos, los diámetros de tallo variaron de 3.50 el testigo agua hasta 6.70 mm con el tratamiento (7) de ácido húmico comercial dosis baja (AH comer DB), en altura de planta los tratamientos con mayor altura fueron el testigo fertilizado (62.5cm), el tratamiento 6 AH3 leonardn DB (63.75cm), (Acido Humico 3 leonard DA (61.25cm), tratamiento 7 AH Comer DB (58.25cm). El tratamiento con menor altura de planta fue el testigo agua (41.25cm), estos resultados se pueden observar en el Cuadro #6.

Cuadro 6. Comparación de medias en altura de planta, diámetro de tallo y peso seco de follaje en selección de ácidos húmicos, como Bioestimulantes de frijol en invernadero.

Núm. de tratamiento	tratamiento	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Peso seco de follaje (g)
1	AH1 Coha. DB	48.75de	4.00a	1.75c
2	AH1 Coha. DA	45.00de	4.00a	3.07c
3	AH2 S.L.P. DB	50.00cde	4.00a	3.12c
4	AH2 S.L.P. DA	51.25de	4.00a	4.15bc
5	AH3 leonard DB	63.750a	4.12a	3.38c
6	AH3 leonard DA	61.25ab	4.75a	7.30a
7	AH Comer DB	58.25abc	6.70a	6.09ab
8	AH Comer DA	53.75bcd	4.50a	6.87a
9	Testigo (fer.)	62.50ab	5.00a	7.23a
10	Testigo (agua)	41.25e	3.50a	2.93c

Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadísticas, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Concentración de macronutrientes en el follaje de frijol en el experimento de selección de ácidos húmicos

La mayor concentración de nitrógeno fueron los tratamientos con fertilización sintética (2.38%) y el ácido húmico 3 dosis alta (3.23%), el tratamiento con menor concentración fue el testigo con solamente agua (2.38%). En concentración de fósforo los tratamientos con mayor concentración fueron los tratamientos con fertilización sintética (0.69%), el ácido húmico 3 dosis alta (0.60%). El tratamiento testigo agua (0.6%) y ácido húmico 1 de Coahuila dosis alta (0.40%) y baja (0.41%) fueron los que presentaron menor concentración. En el nutrimento potasio (2.07%), calcio (1.81%) y magnesio (0.57%) fue el tratamiento mayor concentración fue el tratamiento con fertilización sintética como se puede observar en el Cuadro 7.

En un trabajo realizado Canellas & Olivares, 2014. describen que las sustancias húmicas, particularmente los ácidos húmicos, actúan como promotores del crecimiento vegetal al estimular procesos fisiológicos como: absorción de

nutrientes, desarrollo radicular, actividad enzimática, fotosíntesis, y tolerancia al estrés. Además, explican que estos compuestos derivan de la transformación biológica de la materia orgánica del suelo y poseen propiedades bioactivas que van más allá de la simple mejora física del suelo.

Cuadro 7. Comparación de medias en concentración de macronutrientes en análisis foliar del experimento selección de ácidos húmicos, como bioestimulantes de frijol en invernadero.

Núm. de Trat.	Tratamiento	%N	%P	%K	%Ca	%Mg
1	AH1 Coha. DB	2.63cd	0.40d	1.75abcd	1.57bc	0.41c
2	AH1 Coha. DA	2.54cd	0.41d	1.83abc	1.57bc	0.43bc
3	AH2 S.L.P. DB	2.69cd	0.54bc	1.62bcde	1.75ab	0.48abc
4	AH2 S.L.P. DA	2.68cd	0.60ab	1.53cde	1.41cd	0.47abc
5	AH3 leonard DB	2.62cd	0.49bcd	1.88ab	1.36d	0.46ab
6	AH3 leonard DA	3.23ab	0.60ab	1.82abc	1.54cd	0.56ab
7	AH Comer DB	2.94bc	0.44cd	1.35e	1.46cd	0.47abc
8	AH Comer DA	2.98bc	0.49bcd	2.04a	1.45cd	0.53abc
9	Testigo (fer.)	3.55a	0.69a	2.07a	1.81a	0.57a
10	Testigo (agua)	2.38d	0.61ab	1.43de	1.40cd	0.42c

Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadística, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).



Figura 7. Comparación de tratamientos Testigo agua con ácido húmico 3 DA.

Tercer experimento combinación de ácidos húmicos con extractos de algas en el crecimiento de frijol

Peso seco de follaje de frijol

El tratamiento que obtuvo el mayor peso seco de follaje de frijol fue el testigo fertilización sintética (7.02g), seguido por el tratamiento de extracto de alga *Dictyota* DA con ácido húmico comercial DA (*Dictyota* DA+AH comer DA) con (5.92g), los tratamientos con menor peso seco de follaje el testigo agua (3.08g) y el extracto de *Ulva* DB con ácido húmico1 de Coahuila (*Ulva*DB+AH1 CoahDA) (3.32g), estos resultados se encuentran en el siguiente Cuadro 8.

Altura de planta y diámetro de tallo

En diámetro de tallo no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos los que presentaron el menor diámetro fueron el tratamiento 6 testigo agua (4.12mm) y el tratamiento 3 extracto de alga *Ulva* DB con ácido húmico de Coahuila DA (*Ulva* DB+AH1 Coah DA) (4.12mm) y los tratamientos con mayor altura de planta fueron el testigo fertilizado (108 cm) y el tratamiento 3 extracto de alga *Dictyota* con ácido húmico comercial (*Dictyota* DA+AH comer DA) (94.75cm). Estos resultados se pueden observar en el Cuadro #8. Los extractos de algas aportan fitohormonas y metabolitos bioactivos, mientras que los ácidos húmicos mejoran la absorción y movilización nutrimental, generando una respuesta bioestimulante complementaria. La combinación de extractos de algas y ácidos húmicos puede generar efectos bioestimulantes complementarios, debido a que los extractos de algas aportan compuestos bioactivos como fitohormonas, aminoácidos y polisacáridos, mientras que los ácidos húmicos mejoran la disponibilidad y absorción de nutrientes, así como la actividad metabólica y radicular de las plantas. Mora et al. (2019) reportaron efectos sinérgicos entre microalgas y ácidos húmicos, observando incrementos en crecimiento y rendimiento en cebolla. Asimismo, Canellas y Olivares (2014) señalan que las sustancias húmicas actúan directamente sobre procesos fisiológicos relacionados con el desarrollo vegetal.

Cuadro 8. Comparación de medias, en altura de planta, diámetro de tallo y peso seco de follaje en el experimento interacción de ácidos húmicos con extractos de algas en el crecimiento de frijol.

Núm. de tratamiento	tratamiento	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Peso seco de follaje (g)
1	<i>Ulva</i> DB+AH1 CoahDA	85.00bc	4.12a	3.32d
2	<i>Ulva</i> DB+AH comer DA	84.75bc	4.25a	4.22c
3	<i>Dictyota</i> DA+ AH1 Coah DA	94.75 ab	4.50a	5.00b
4	<i>Dictyota</i> DA + AH comer DA	112.75a	5.00a	5.92a

5	Testigo (ferti. sintética)	108.00a	5.25a	7.02a
6	Testigo (agua)	71.25c	4.12a	3.08 d

Medias con letras iguales en cada columna no presentan diferencia estadística, según Tukey ($\alpha \leq 0.05$).



Figura 8. Comparación de tratamientos testigo agua con la mezcla de extracto de alga *Dictyota* DA con ácido húmico comercial DA.

12. CONCLUSIONES

- Los ácidos húmicos obtenidos de leonardita presentan un efecto bioestimulante en frijol comparable a los ácidos húmicos comerciales, ya que estos contienen compuestos adicionales y son más costosos.
- Los extractos de algas y ácidos húmicos producen mayor crecimiento de frijol y mayor absorción de nutrimentos en el follaje en comparación del tratamiento testigo (agua) y un efecto similar al tratamiento fertilización sintética.
- Las costas de Sinaloa contienen diferentes especies de algas que sus extractos pueden bioestimular el crecimiento y desarrollo del frijol.
- En relación con la aplicación de extractos de algas, se concluyó que estos bioestimulantes favorecieron el crecimiento vegetativo del cultivo, reflejado en un mayor vigor de las plantas y en un desarrollo más uniforme en comparación con el tratamiento testigo. Estos resultados indicaron que las algas utilizadas contribuyeron positivamente a los procesos fisiológicos del frijol.
- Los ácidos húmicos de leonardita obtenidos presentan efecto bioestimulante en frijol comparable a los ácidos húmicos comerciales, ya que estos contienen compuestos adicionales y son más costosos para el productor.
- Respecto al uso de ácidos húmicos, se concluyó que su aplicación mejoró la disponibilidad y absorción de nutrientes, lo cual se manifestó en un mejor estado nutricional y en un desarrollo radicular más eficiente. Este efecto permitió un crecimiento más equilibrado de las plantas durante el ciclo evaluado.

- Al comparar los tratamientos aplicados, se llegó a la conclusión que tanto las algas como los ácidos húmicos presentaron efectos favorables en el desarrollo del cultivo; sin embargo, se identificaron diferencias en la magnitud de la respuesta dependiendo del tipo de bioestimulante utilizado.

13. RECOMENDACIONES

- En la presente investigación se encontraron dosis de extractos de algas *Dictyota* y *Ulva* con potencial bioestimulante en el crecimiento de frijol en invernadero, con base en lo anterior, resulta necesario realizar más evaluaciones en campo, con el fin de observar y evaluar el comportamiento en condiciones apegadas a las tradicionales que usan los productores de la región de Guasave, Sinaloa, asimismo, se recomienda identificar y analizar la producción de metabolitos asociados con la promoción de crecimiento, por otro lado, a futuro es conveniente evaluar los extractos y ácidos húmicos contra patógenos para conocer si tienen la capacidad de antagonistas.
- Realizar estudios multianuales y en diferentes condiciones edafoclimáticas, debido a que la respuesta de los cultivos a los bioestimulantes puede variar según las condiciones ambientales y del suelo. Esto contribuirá a generar recomendaciones técnicas con mayor confiabilidad y aplicabilidad para los productores.
- Analizar el efecto de los bioestimulantes sobre el rendimiento y la calidad de la producción, ya que además de las variables de crecimiento, se recomienda evaluar componentes del rendimiento como número de vainas por planta, número de granos por vaina, peso de cien semillas y rendimiento total por hectárea.
- Determinar la viabilidad económica y la sostenibilidad de su uso en sistemas de producción comercial, que incluyan costos de aplicación, incremento en el rendimiento y rentabilidad del cultivo, así como estudios sobre la interacción de los extractos de algas y ácidos húmicos con programas convencionales de fertilización.

14. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, A. V. (2021). Efecto de la aplicación de ácidos húmicos sobre propiedades químicas del suelo y plantas de lechuga Batavia, *Universidad Nacional de Colombia*:<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79720/1053610690.2021.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- Aguilar, R. A. U. L., & Rosas, J. E. A. (1998). USA de las algas marinas en México. *Ciencia y desarrollo*, 143, 66-73.
- Alcántar G. G. & M. Sandoval V. (1999). Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, estado de México. *Amer. Soc. Agron. Jour. Monog.* 4: 89-122.
- Angélica Romero-Rodríguez, Héctor S. Luna-Zendejas, Aida Solis-Oba, Rigoberto Castro-Rivera, A. Dagoberto Armenta-Bojórquez & M. Myrna Solís- Oba. (2022). Evaluación de la calidad de tomate fertilizado con extracto de sargazo del Caribe mexicano y micorrizas. *Mexican Journal of Biotechnology*, 7(3):15-31. Journal homepage: www.mexjbiotechnol.com ISSN:2448-6590.
- Armenta-Bojórquez Adolfo Dagoberto, Roblero-Ramírez Hugo Rubili, Camacho-Báez Jesús Ricardo, Mundo-Ocampo Manuel, García-Gutiérrez Cipriano & Armenta-Medina Alma. (2016). Organic Versus Synthetic Fertilization of Beans (*Phaseolus Vulgaris* L.) in Mexico. *Experimental Agriculture*, Cambridge, available on CJO2015. doi:10.1017/S0014479715000010.
- Armenta-Bojórquez Adolfo Dagoberto, Cervantes-Medina Carolina, Galaviz-Lara Julián Alberto, Camacho-Báez Jesús R., Mundo-Ocampo Manuel & Cipriano García-Gutiérrez. (2012). Impacto de la fertilización nitrogenada en agua para consumo humano en el municipio de Guasave, Sinaloa, México. *Ra Ximhai* 8(3); 11-16.

- Armenta-Bojórquez A. D., García-Gutiérrez C., Camacho-Báez, J. R., Apodaca-Sánchez, M. A., Gerardo-Montoya, L. & Nava-Pérez E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*. 6:51-56.
- Bashan Y. & Holguin G. (1998). Proposal for the division of plant growth- promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol PGPB (plant growth-promoting bacteria) and PGPB. *Soil Biol. Biochem.* 30: 1225-1228.
- Battacharyya, D., Babgohari, M. Z., Rathor, P. & Prithiviraj, B. (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.012>
- Buckman, O.H. & Brady, C.N. (1970). *Naturaleza y Propiedades de los suelos*. Ed. Montoner y Simon, S.A. Barcelona, España. Pp:387, 426-448.
- Cardenas, J. A. (2018). prueba de ensayo de ácido húmico, para la producción de frijol.
- Calvo, P., Nelson, L. & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383, 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- Canellas, L. P. & Olivares, F. L. (2014). *Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 1(1), 3. <https://doi.org/10.1186/2196-5641-1-3>
- Canellas, L. P., da Silva, R. M., Busato, J. G., & Olivares, F. L. (2024). *Humic substances and plant abiotic stress adaptation*. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 11, 66.

- Chena, G. R., Crispin, M. A. & Larrea R. E. (1981). Cultivo de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) en producción de granos y forrajes. 2ª Ed. Editorial Limusa, México. Pp: 469-499.
- Cole, A. J., Roberts, D. A., Garside, A. L., de Nys, R. & Paul, N. A. (2016). Seaweed compost for agricultural crop production. *Journal of applied phycology*, 28(1), 629-642.
- Craigie, J. S. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 371–393.
<https://doi.org/10.1007/s10811-010-9560-4>
- CROPTOLOGY. (11 de noviembre de 2023). <https://manvert.com/>. Obtenido de [https://manvert.com/: https://manvert.com/medios/algas-bioestimulantes](https://manvert.com/:https://manvert.com/medios/algas-bioestimulantes)
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Du Jardin, P. (2015). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383, 3–41.
- Dobereiner, J., Urquiaga, S., Boddey, R. M. & Ahmad, N. (1995). Alternatives for nitrogen of crops in tropical agriculture. *Nitrogen Economy in tropical Soil. Fertilizar Research*. 42:339-346.

El Boukhari ME-M, Barakate M., Bouhia Y. & Lyamlouli K. (2020) Trends in Seaweed Extract Based Biostimulants: Manufacturing Process and Beneficial Effect on Soil-Plant Systems. *Plants* 9(359): 1-23; doi:10.3390/plants903035

Fertilab. (2025). <https://www.fertilab.com.mx>. Obtenido de <https://www.fertilab.com.mx>:
https://www.fertilab.com.mx/AdminFertilab/Notas_Tecnicas/pdf_nota/Funciones_Y_Beneficios_De_Los_Acidos_Humicos_.pdf

Food and Agriculture Organization (FAO). (2005). *The importance of soil organic matter*. Rome, Italy.

Gemin, L. G., Mógor, Á. F., Amatussi, J. O. & Mógor, G. (2019). *Microalgae associated to humic acid as a novel biostimulant improving onion growth and yield*. *Scientia Horticulturae*, 256, 108560.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108560>

Hortitec. (4 de Junio de 2025). <https://hortitec.mx>. Obtenido de <https://hortitec.mx>:
<https://hortitec.mx/2025/06/04/bioestimulantes-presente-y-futuro-agricultura-sostenible/>

Helen Veobides Amador, & García González, F. (2018). Las sustancias húmicas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental.
<https://www.redalyc.org/journal/1932/193260659015/html/>

Hernández-Herrera, R.M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Zañudo-Hernández, J. *et al.* (2016). Activity of seaweed extracts and polysaccharide-enriched extracts from *Ulva lactuca* and *Padina gymnospora* as growth promoters of tomato and mung bean plants. *J Appl Phycol* 28, 2549–2560.
<https://doi.org/10.1007/s10811-015-0781-4>

International Humic Substances Society. (2016). Standard methods for the isolation of humic and fulvic acids from soils and sediments. IHSS. <https://humic-substances.org>

INIFAP. 2016. Guía para la asistencia técnica. Valle de El Fuerte. Los Mochis.

Jardin, D. (2015). Bioestimulantes vegetales: definición, concepto, principales categorías y normativa. Scientia Horticultura.

JILOCA INDUSTRIAL, S. A. (2024). www.acidoshumicos.com/acidos-humicos.
Obtenido de www.acidoshumicos.com/acidos-humicos.

Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., Critchley, A. T., Craigie, J. S., Norrie, J. & Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. J. Plant Growth Reg. 28(4):386-399.

Kocira, S., Szparaga, A., Kubon, M., Czerwińska, E., Piskier, T. & otros. (2020). Biochemical and economical effect of application biostimulants containing seaweed extracts and amino acids as an element of agroecological management of bean cultivation. *Scientific Reports*, 10, 17759.

López-Valenzuela, B. E., Tzintzun-Camacho, O., Armenta-Bojórquez, A. D., Valenzuela-Escoboza, F. A., Lizárraga-Sánchez, G. J., Ruelas-Islas, J. D. R., & González-Mendoza, D. (2022). Microorganismos del género trichoderma productores de fitohormonas y antagonistas de fitopatógenos. *Bioagro*, 34(2), 163-172. <https://doi.org/10.51372/bioagro342.6>

López-Valenzuela, B.E., Medina-Trevedán, L.F., Valenzuela-Cuadras, E., Valenzuela-Escoboza, F.A., Romero-Félix, C. S., Ayala-Armenta, Q. A.,

- Armenta-Bojórquez, A. D. & García-Pérez, F. (2023). Aislados del género *Trichoderma* contra Fitopatógenos del cultivo de arándano azul (*Vaccinium corymbosum* L.). *Cienc. Agron. Apl. Biotecnol.*, 3:165-169. ISSN 2954-4092.
- Lopez-Climent, M. F., et al. (2024). Seaweed extracts: enhancing plant resilience to biotic and abiotic stresses. *Frontiers in Marine Science*, 11.
- NOM-021-RECNAT-2000. Aprobada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Conservación, Protección, Restauración y Aprovechamiento de los Recursos Forestales de Suelos y Costas. Norma Oficial Mexicana. 227 pp.
- Olsen S. R. et al., (1953). Inorganic phosphorus in alkaline and soils.
- Rama Rao, K. (1991). Effect of seaweed extract on *Zizyphus mauritiana* Lamk. *Journal of the Indian Botanical Society*, 71, 19–21.
- Roche, D., Rickson, J. R., & Pawlett, M. (2024). Moving towards a mechanistic understanding of biostimulant impacts on soil properties and processes: A semi-systematic review. *Frontiers in Agronomy*, 6, 1271672.
- Romero R. A., Luna-Z. H., Solís O. A., Castro R. R., Armenta B. A. & Solís O. M., M. (2022). Evaluación de la calidad de tomate fertilizado con extracto de sargazo del Caribe mexicano y micorrizas. *Mexican Journal of Biotechnology*, 7(3), 15-31. <https://doi.org/10.29267/MXJB.2022.7.3.15>
- SAS Institute. (2009). *STAT/SAS User's Guide*, 9.0. ed. SAS Institute
- Selvaraj, R., Selvi, M. & Shakila, P. (2004). Effect of seaweed liquid fertilizer on *Abelmoschus esculentus* (L). Moench and *Lycopersicon lycopersicum* Mill. *Seaweed Res Utilin.* 26:121-123.

- Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., Martínez-Pardo, C., Cegarra, J., & Paredes, C. (1996). A microanalysis method for determining total organic carbon in extracts of humic substances: Relationships between total organic carbon and oxidable carbon. *Bioresource Technology*, 57(4), 291-295. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(96\)00078-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(96)00078-8)
- Singh, S., et al. (2024). A review of seaweed extract's potential as a biostimulant to enhance growth and mitigate stress in horticulture crops. *Scientia Horticulturae*.
- Van Oosten, M.J., Pepe, O., De Pascale, S. et al. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 4, 5. <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0089-5>
- Wajahatullah Khan, U. P. (08 de Mayo de 2009). *SPRINGER NATURE*. Obtenido de Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development: <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>
- Walkley, A.J. and Black, I.A. (1934). Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37, 29-38.

15. ANEXOS

Anexo 1. Preparación de terreno e instalación de tratamientos en campo experimental de CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa.



Anexo 2. Charolas de germinación y seguimiento a plántulas en invernadero.



Anexo 3. Montaje del diseño experimental en macetas bajo condiciones de malla sombra en el CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa.



Anexo 4. Riego y aplicaciones a plantas de frijol en campo.

