

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Evaluación de Parámetros de Crecimiento, Rendimiento y Calidad de Frutos en Plantas de Chile Jalapeño Bajo Estrés Salino y con la Aplicación de un Fermento de *Sargassum* spp.

Por:

ISMAEL LUJAN TETLALE

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Evaluación de Parámetros de Crecimiento, Rendimiento y Calidad de Frutos en Plantas de Chile Jalapeño Bajo Estrés Salino y con la Aplicación de un Fermento de *Sargassum* spp.

Por:


ISMAEL LUJAN TETLALE

TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA


Aprobada por el Comité de Asesoría:




Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Asesor Principal




M.C. Verónica Soriano Punte
Asesora Principal Externa



Dr. Armando Robledo Olivo
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México
Junio 2025

Declaración de no plagio

El autor principal quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes. Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Autor principal



Firma y Nombre

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Agradezco a Dios por ser mi guía y fortaleza en cada momento de esta etapa universitaria. Gracias por darme la fuerza en los días difíciles, por mantener mi sonrisa incluso en medio de la adversidad, y por acompañarme en silencio cuando más lo necesitaba. Sin Su presencia constante, este logro no habría sido posible.

A mi Alma Terra Mater

Con profundo respeto y gratitud, agradezco a mi Alma Terra Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por brindarme una segunda casa donde nunca me faltó el alimento, ni en cuerpo ni en espíritu. En sus aulas, campos y pasillos encontré conocimiento, fraternidad y propósito. Hoy me siento honrado de egresar de esta gran institución y de alzar el vuelo como un buitre más de la Narro.

Al Departamento de Horticultura

En especial a cada uno de los maestros y doctores que formaron parte de mi formación. Gracias por brindarme sus conocimientos, por compartir sus experiencias y por sembrar en mí la pasión por esta noble ciencia.

A mi asesora de tesis

A la M.C. Verónica Soriano Puente, mi más sincero agradecimiento por su invaluable apoyo a lo largo de este proyecto. Gracias por estar presente en cada momento, por guiarme con paciencia, por confiar en mí y por brindarme siempre su orientación y respaldo. Su compromiso, dedicación y entrega hicieron posible que este trabajo tomara forma y llegara a buen puerto. La admiro profundamente no solo por su conocimiento, sino también por la calidad humana con la que acompaña. Gracias por ser parte esencial de este logro. Siempre llevaré con gratitud su enseñanza y su ejemplo.

A mis amistades

A **Heidi Marilyn Miranda Melo**, me siento afortunado de haberte conocido y de haber compartido momentos increíbles contigo. Tu compañía ha sido invaluable en los momentos buenos y malos, y siempre has estado allí para apoyarme y animarme. En esta etapa universitaria, has sido una gran persona para mí. Tu amistad y apoyo han hecho una gran diferencia en mi vida. Te aprecio mucho y valoro la relación que hemos construido. Gracias por ser una persona tan especial y por estar siempre allí para mí.

A **Bernardo Lujan Ramos**, por el apoyo incondicional que me ha brindado a lo largo de todos estos años de amistad. Tú, más que un amigo, has sido un compañero constante en cada paso, dispuesto a escuchar, a aconsejar y a dar una mano cuando más lo he necesitado. Son muchos los sueños, vivencias y experiencias que hemos compartido, agradezco tu lealtad, tu compañía y tus consejos, que siempre han sido valiosos para mí.

A **Ana Yareli De la Cruz Torres**, gracias por ser esa presencia constante e incondicional en mi vida. Desde el primer momento en que llegué a esa casa a rentar, me hiciste sentir bienvenido, acompañado y en confianza. Nunca dudaste en estar conmigo, en brindarme tu apoyo sincero y esa calidez que solo los corazones nobles saben dar. Hemos estado el uno para el otro en distintos momentos, con cariño, con comprensión y con esa hermosa complicidad que solo nace de una amistad genuina.

A **Yazmin García Mejía**, una de las personas más inesperadas, pero más significativas que me regaló la vida, tu presencia le dio un giro inesperado, pero hermoso, a mi vida universitaria. Gracias por estar, por compartir, y por iluminar mi camino con tu forma tan única de ser.

A ti, **Lizbeth Garcés Domínguez**, gracias por ser parte de este capítulo tan importante de mi vida, por creer en mí, por alentarme, por comprender mis ausencias y por estar siempre con el corazón dispuesto. Estuviste conmigo en los días de cansancio, en las noches de desvelo, en los momentos de duda y en los de alegría por eso y más siempre te tendré presente en mi vida.

A **Carolina García Albarrán**, una de las mejores amistades que la vida me regaló en tan poco tiempo. Gracias por demostrar que no se necesita una eternidad para dejar huella en el corazón. Eres el claro ejemplo de esas personas que, con solo verlas, te alegran el alma.

A mi mejor amiga, **Daniela López Trejo**, gracias por enseñarme lo que realmente significa una amistad sincera, leal y profunda. Gracias por cada palabra, cada abrazo, cada momento en el que estuviste ahí sin necesidad de pedirlo. Eres una de esas personas que llegan a la vida para quedarse, para marcar el alma con amor y compañía verdadera. Siempre voy a estar agradecido con la vida por cruzar nuestros caminos, y a mi querida Alma Terra Mater por haberme dado el privilegio de coincidir contigo.

A la Sra. **Angelina Ortiz Concha** y a su hija **Yaretzy López Ortiz**, gracias de corazón por todo lo que me brindaron durante esta etapa universitaria. Estoy eternamente agradecido por abrirme las puertas de su casa y hacerme sentir parte de ustedes, como en familia. Con ustedes nunca me sentí solo, porque siempre fui recibido con cariño, con una sonrisa y con los brazos abiertos. A ti, Angelina, gracias por darme tu confianza, por ese respeto mutuo que siempre cuidaste, por tus consejos sinceros y por ese apoyo incondicional que me hizo sentir como si estuviera en mi propio hogar.

DEDICATORIAS

A mis padres

Modesto Lujan Ahuanta y María de Jesús Tetlale Espinoza

Este logro, este sueño cumplido también es de ustedes. Gracias por ser la base sólida sobre la cual se construyó mi vida, por enseñarme el valor del esfuerzo, la humildad, la disciplina y el amor incondicional. Gracias, papá, por tu trabajo incansable, por mostrarme que la verdadera grandeza está en la dedicación diaria y en la constancia silenciosa. Gracias, mamá, por tu cariño inagotable, tus palabras sabias, tu fe firme en mí, incluso cuando yo mismo dudaba. Nunca dejaron de creer en mí, nunca dejaron de empujarme hacia adelante, y jamás me dejaron solo. Ustedes me enseñaron que los sueños se alcanzan con sacrificio, con valentía y con el corazón firme. Hoy, con el alma llena de orgullo, les dedico este triunfo. Porque si yo estoy aquí, es gracias a ustedes. Porque cada página de esta tesis lleva el reflejo de su amor, su esfuerzo y su ejemplo. Gracias por todo, con todo mi amor. Este logro es tan mío como suyo.

A mis hermanos

Alexsander Lujan Tetlale y José Emmanuel Lujan Tetlale, gracias por estar ahí cuando más los necesité, por tenderme la mano sin pensarlo, por acompañarme con su apoyo silencioso pero firme. Cada gesto de ayuda, cada palabra de ánimo, cada vez que me levantaron sin decir mucho.

En memoria de

Arely Lizbeth Raymundo Rubio†

Te dedico con todo mi corazón este triunfo, porque fuiste mi primera amiga en la universidad, porque tu amistad marcó el inicio de este camino y porque tu recuerdo ha sido una luz constante en mi andar. Aunque la vida no te permitió llegar físicamente hasta este momento, quiero decirte que, para mí, tú también lo lograste. Hoy, allá donde estés, ya eres una gran Ingeniera. Tu sonrisa, tu fuerza y tu amistad siguen vivas en cada paso que doy, y tu memoria me acompaña con orgullo y gratitud. Gracias por haber sido parte de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIAS	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE CUADROS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRAC	XI
I. INTRODUCCION.....	1
1.1 Objetivo General.....	3
1.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Importancia del chile jalapeño	4
2.2 Origen.....	4
2.3 Clasificación taxonómica	5
2.4 Morfología de la planta	5
2.4.1 Raíz.....	5
2.4.2 Tallo.....	5
2.4.3 Hoja	6
2.4.4 Flor	6
2.4.5 Fruto	6
2.4.6 Semilla.....	6
2.5 Producción nacional.....	6
2.6 Bioestimulantes	7
2.6.1 Clasificación de bioestimulantes	10
2.6.2 Extractos de algas como bioestimulante.....	11
2.6.3 Algas pardas	11
2.6.4 <i>Sargassum</i> ssp	13
2.7 Bioprocesos	14
2.7.1 Tipos de fermentación	14

2.7.2 Fermentación en medio líquido	15
2.7.3 Fermentación en medio sólido.....	15
2.8 Generalidades del hongo <i>Aspergillus niger</i>	15
2.9 Estrés salino	16
2.9.1 Efecto de la salinidad en el rendimiento y calidad de los cultivos.....	17
2.10. Antioxidantes	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1 Ubicación del experimento	19
3.2 Material vegetal.....	19
3.3 Diseño experimental y tratamientos.....	20
3.4 Trasplante.....	21
3.5 Nutrición del cultivo	21
3.6 Producción del fermento en medio líquido	22
3.7 Variables agronómicas evaluadas	23
3.7.1 Altura.....	23
3.7.2 Diámetro de tallo	23
3.7.3 Número de hojas.....	24
3.7.4 Rendimiento	24
3.8 Variables de calidad del fruto	24
3.8.1 Almacenamiento y liofilización de fruto.....	24
3.8.2 Extracción de compuestos bioactivos.....	25
3.8.3 Capacidad antioxidante en frutos	25
3.8.4 Fenoles totales	26
3.8.5 Flavonoides.....	26
3.8.6 Vitamina C.....	27
3.8.7 Carotenoides	27
4.0 Análisis estadístico.....	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	28
Calidad en los frutos de chile jalapeño	30
Capacidad antioxidante por el ensayo de ABTS.....	30
Capacidad antioxidante por el ensayo de DPPH.....	31
Fenoles totales.....	32

Flavonoides	33
Vitamina C	34
Carotenoides.....	35
V. CONCLUSIÓN	36
VI. LITERATURA CITADA	38

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Taxonomía del chile jalapeño	5
Cuadro 2. Definición de bioestimulantes	7
Cuadro 3. Efecto de la aplicación de un extracto fermentado a partir de <i>Sargassum</i> spp. sobre variables agronómicas en plantas de chile jalapeño bajo estrés salino.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Semilla utilizada de la casa comercial Starseeds.	19
Figura 2. Plántulas de chile jalapeño.	19
Figura 3. Diseño experimental de bloques completos al azar.	20
Figura 4. Tratamientos aplicados del fermento a diferentes concentraciones.	20
Figura 5. Hongo <i>Aspergillus niger</i>	22
Figura 6. Alga parda: <i>Sargassum</i> spp. secada y tamizada.	22
Figura 7. Cosechas de diferentes tratamientos: control absoluto (CA), T3: sin estrés salino con la aplicación del fermento al 0.5%, T4: sin estrés salino con la aplicación del fermento al 1.5%.	24
Figura 8. Muestras de fruto de chile jalapeño en proceso de liofilización.	25
Figura 9. Determinación de fenoles totales mediante el método de Folin-Ciocalteu.	26
Figura 10. Determinación de carotenoides en frutos de chile jalapeño.	28
Figura 11. Peso de frutos por planta (g) de chile jalapeño.	30
Figura 12. Capacidad antioxidante por el ensayo de ABTS en frutos de chile jalapeño.	31
Figura 13. Capacidad antioxidante por el ensayo de DPPH en frutos de chile jalapeño.	32
Figura 14. Fenoles totales en frutos de chile jalapeño.	33
Figura 15. Contenido de flavonoides en frutos de chile jalapeño.	34
Figura 16. Vitamina C en frutos de chile jalapeño.	35
Figura 17. Carotenoides en frutos de chile jalapeño.	36

RESUMEN

El chile jalapeño es una de las variedades más importantes en México tanto por su consumo, valor nutricional y por su valor comercial de exportación. Un cultivo que se produce anualmente a campo abierto. De los mayores problemas que presenta, es la tolerancia a la salinidad del suelo y agua, un factor abiótico limitante al buen desarrollo de la planta y productividad. Las concentraciones elevadas de sales solubles en particular el cloruro de sodio (NaCl) afectan negativamente los procesos fisiológicos, como la reducción del potencial osmótico, absorción de nutrientes, reducción de la fotosíntesis, generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) entre otras, desencadenado una serie de problemas. En este sentido, el uso de bioestimulantes puede ser una opción estratégica para mitigar los daños por estrés salino, ya que estos actúan sobre los procesos fisiológicos y bioquímicos de la planta, fortaleciendo los mecanismos de defensa, estimulando el crecimiento radicular, mejora de absorción de agua, activando rutas de antioxidantes, además por el bajo impacto ambiental, siendo sostenible y adaptable para la agricultura. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del estrés salino y la aplicación de un fermento elaborado a partir de *Sargassum* spp. sobre los parámetros de crecimiento, rendimiento y calidad de frutos de chile jalapeño bajo condiciones de estrés salino. La aplicación del fermento favoreció la activación del sistema antioxidante de las plantas, lo que se tradujo en un aumento en la concentración de compuestos antioxidantes como parte de su mecanismo de defensa y adaptación. Estos resultados sugieren que el uso de fermentos derivados de *Sargassum* spp. representa una alternativa prometedora para mitigar los efectos negativos del estrés salino en cultivos hortícolas.

Palabras clave: Estrés abiótico, cloruro de sodio, bioestimulante, *Sargassum*.

ABSTRACT

The jalapeño pepper is one of the most important varieties in Mexico due to its consumption, nutritional value, and commercial export value. It is a crop that is produced annually in open fields. One of the major problems it faces is the tolerance to soil and water salinity, an abiotic factor that limits the proper development of the plant and productivity. High concentrations of soluble salts, particularly sodium chloride (NaCl), negatively affect physiological processes, such as the reduction of osmotic potential, nutrient absorption, reduction of photosynthesis, generation of reactive oxygen species (ROS), among others, triggering a series of problems. In this sense, the use of biostimulants can be a strategic option to mitigate damage from salt stress, as they act on the physiological and biochemical processes of the plant, strengthening defense mechanisms, stimulating root growth, improving water absorption, activating antioxidant pathways, and also having a low environmental impact, making them sustainable and adaptable for agriculture. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of salt stress and the application of a ferment made from *Sargassum* spp. on the growth parameters, yield, and quality of jalapeño pepper fruits under salt stress conditions. The application of ferment promotes the activation of the antioxidant system in plants, which translated into an increase in the concentration of antioxidant compounds as part of their defense and adaptation mechanism. These results suggest that the use of ferments derived from *Sargassum* spp. represents a promising alternative to mitigate the negative effects of salt stress on horticultural crops.

Keywords: abiotic stress, sodium chloride, biostimulant, *Sargassum*,

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, se estima que más del 74 % de los suelos utilizados para la agricultura enfrentan problemas severos de salinidad. En México, cerca de 100 millones de hectáreas presentan niveles elevados de sales, particularmente de sodio (Na), lo que compromete la productividad agrícola. Pese a estas condiciones adversas, muchas plantas han desarrollado estrategias adaptativas, tanto fisiológicas como bioquímicas, que les permiten reducir o tolerar los efectos perjudiciales provocados por la acumulación salina en el suelo (Orosco & Núñez et al, 2018).

Sin embargo, las plantas por sí solas no siempre son capaces de contrarrestar de manera efectiva los efectos del estrés salino. Ante esta limitación, el uso de productos orgánicos, como los bioestimulantes, representa una estrategia complementaria clave, estos compuestos pueden fortalecer los mecanismos naturales de defensa de las plantas, mejorar su tolerancia al estrés abiótico y contribuir al mantenimiento del crecimiento y la productividad en condiciones salinas (Pérez-Madruga et al., 2020).

En el cultivo de chile jalapeño, la salinidad constituye una de las principales limitantes para su desarrollo, debido a la alta sensibilidad de esta hortaliza a este estrés. Además, la acumulación excesiva de sales en el suelo disminuye significativamente la capacidad de la planta para absorber agua y nutrientes. En un estudio realizado por Grimaldo & Genhua et al, (2017) explica que, a nivel fisiológico, este tipo de estrés altera funciones vitales como la fotosíntesis, la respiración celular y la síntesis de proteínas. Asimismo, provoca desequilibrios iónicos, induce la generación de especies reactivas de oxígeno (estrés oxidativo) y afecta la regulación hormonal, lo que en conjunto repercute negativamente en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo.

Así mismo, el fruto del chile jalapeño destaca por su notable capacidad antioxidante, la cual se debe a la presencia de diversos compuestos bioactivos, entre los que se encuentran polifenoles, flavonoides, vitamina C, carotenoides y capsaicinoides (Ramírez & Camacho, 2014). Los antioxidantes son moléculas que actúan neutralizando los radicales libres, especies reactivas de oxígeno que se generan de manera natural en el organismo a través del metabolismo celular o por exposición a agentes externos como la radiación ultravioleta, la

contaminación y el estrés (Cruz & Pérez et al, 2018). Cuando los radicales libres se acumulan en exceso, pueden ocasionar daños a nivel celular (Gutiérrez et al., 2022).

Dado el impacto significativo del estrés salino y otros factores ambientales adversos que afectan el cultivo de Chile, una de las estrategias más eficaces para mitigar estos efectos es la aplicación de bioestimulantes. En los últimos años, ha cobrado especial relevancia el uso de bioestimulantes derivados de macroalgas, especialmente de algas pardas. Como señala Díaz & Prado et al, (2024), el género *Sargassum* spp. se ha identificado como una fuente prometedora, debido a su riqueza en compuestos bioactivos que han demostrado contribuir a la tolerancia al estrés salino en diversos cultivos hortícolas. Estas algas aportan beneficios fisiológicos y bioquímicos que mejoran la capacidad de las plantas para adaptarse a condiciones adversas, favoreciendo su desarrollo y productividad (Pacheco Dallon, 2022).

1.1 Objetivo General

Evaluar el efecto del estrés salino y la aplicación de un fermento de *Sargassum* spp. sobre los parámetros de crecimiento, rendimiento y calidad de frutos de chile jalapeño.

1.2 Objetivos Específicos

- Determinar el impacto del fermento de *Sargassum* spp. sobre el crecimiento vegetativo de plantas de chile jalapeño sometidas a estrés salino.
- Evaluar los parámetros de rendimiento en plantas de chile jalapeño por efecto del fermento de *Sargassum* spp. y el estrés salino.
- Evaluar los parámetros de calidad nutracéutica por efecto del fermento de *Sargassum* spp. y el estrés salino en plantas de chile jalapeño.

1.3 Hipótesis

La aplicación de un fermento de *Sargassum* spp. promueven efectos bioestimulantes en plantas de chile jalapeño mejorando la tolerancia al estrés salino.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia del chile jalapeño

La relevancia económica del chile jalapeño radica principalmente en la creciente demanda nacional e internacional, impulsada por su versatilidad en la cocina y sus múltiples aplicaciones. Este tipo de chile ha ganado popularidad no solo por su consumo en estado fresco, sino también por su uso en productos procesados y conservas, lo que ha incrementado su presencia en diversos mercados (Haro & Valarezo, 2022).

De acuerdo con Mendoza-Sánchez et al., (2015) el chile (*Capsicum annuum*) se considera uno de los cultivos más distinguidos para la alimentación humana, tanto por su valor nutricional como por su amplio uso culinario. Este fruto destaca por ser una fuente rica en fitoquímicos beneficiosos para la salud, entre los que se incluyen vitaminas esenciales como la A y la C, así como compuestos fenólicos, flavonoides y carotenoides (Coronado M; et al., 2015).

Los chiles de la especie *Capsicum annuum* poseen propiedades benéficas para la salud, gracias a la presencia de compuestos bioactivos, entre sus principales efectos se ha identificado su capacidad para contribuir a la prevención del cáncer, fortalecer el sistema inmunológico, reducir el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y ralentizar el envejecimiento celular. Estos beneficios se deben, en gran medida, a sustancias como los antioxidantes naturales, capsaicinoides, y vitaminas (Ramírez-Ibarra et al., 2016).

2.2 Origen

El chile jalapeño, al igual que otras especies del género *Capsicum*, tiene su origen en el continente americano. Diversas investigaciones arqueológicas respaldan que México es el centro primario de origen y domesticación de este género, en regiones como Tehuacán, Puebla, y Ocampo, Tamaulipas. Estas evidencias históricas sustentan el papel de México como uno de los principales centros de diversificación genética y cultural del *Capsicum* (Hernández-Hernández Itzel, 2021).

2.3 Clasificación taxonómica

De acuerdo con el SIOVM, (2018) el chile jalapeño se clasifica taxonómicamente dentro del siguiente esquema:

Cuadro 1. Taxonomía del chile jalapeño

REINO	Plantae
DIVISIÓN	Magnoliophyta
CLASE	Magnoliopsida
ORDEN	Solanales
FAMILIA	Solanaceae
GÉNERO	Capsicum
ESPECIE	<i>Capsicum annuum</i> L.

2.4 Morfología de la planta

El chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) es una planta subarborescente de morfología variable, cuya altura puede oscilar entre los 0.6 y 1.5 m, dependiendo de factores como las condiciones climáticas y el manejo agronómico aplicado durante su cultivo. Esta especie es monoica y autógama, lo que significa que presenta flores con órganos reproductivos masculinos y femeninos en la misma planta, y que su polinización ocurre mayoritariamente de forma autopolinizante (González-Antonio, 2023).

2.4.1 Raíz

La planta desarrolla un sistema radicular de tipo pivotante, que se caracteriza por su crecimiento profundo, alcanzando profundidades que oscilan entre los 70 y 120 cm. Este eje principal está acompañado y fortalecido por una gran cantidad de raíces adventicias, las cuales mejoran la estabilidad de la planta (García-Vázquez David, 2022).

2.4.2 Tallo

La planta presenta un crecimiento moderado y limitado en altura, caracterizándose por su porte erecto y estructura herbácea. Su tallo principal, junto con sus numerosas ramificaciones, le otorga una apariencia compacta y bien definida. El color predominante en toda la parte aérea es un verde oscuro (Juárez-Fernando, 2015).

2.4.3 Hoja

Las hojas son de borde entero y muestran una morfología que puede oscilar entre formas ovaladas y lanceoladas. La textura de su superficie varía según la variedad o el estado fenológico de la planta, pudiendo ser lisa o pubescente, lo cual puede influir en su adaptación a diferentes condiciones ambientales (León et al., 2021).

2.4.4 Flor

Las flores son solitarias, de inserción axilar o terminal, con cinco pétalos de color blanco opaco. Están sostenidas por pedicelos que superan los 1.5 cm de longitud. El cáliz es acampanado, dentado, mide aproximadamente 2 mm y suele cubrir la base del fruto. La corola se divide en 5 o 6 lóbulos, de color blanco o verdoso, y contiene entre 5 y 6 estambres con anteras angulosas. El ovario es bilocular y generalmente multicelular. Bajo domesticación, el estilo es simple y puede ser blanco o púrpura (García-Vázquez, 2022).

2.4.5 Fruto

Es un fruto carnoso y brillante, de color verde intenso cuando está inmaduro, y que puede tornarse rojo conforme madura. Su forma es cónica y alargada, con una superficie lisa y firme al tacto. Por lo general, mide entre 5 y 9 cm de largo y cerca de 2 a 3 cm de ancho en su parte más gruesa. En su interior contiene numerosas semillas de color claro, adheridas a una placenta central (Ceniceros, 2022).

2.4.6 Semilla

La semilla del chile jalapeño posee una forma aplanada y ligeramente discoide. En uno de sus bordes, el más recto, se localiza el hilo, que es la marca o cicatriz que queda como resultado de la separación de la semilla del funículo al alcanzar la madurez y desprenderse de la placenta. Su superficie externa es bastante lisa y carece de vellosidad, por lo que no presenta un aspecto pubescente ni tomentoso (Mendoza, 2013).

2.5 Producción nacional

En México, el chile (*Capsicum annuum*) es una de las hortalizas de mayor relevancia económica a nivel mundial, el cultivo de chile representa una de las producciones hortícolas más significativas, con un volumen que supera los 36.7 millones de toneladas anuales. En este contexto, México ocupa el segundo lugar como país exportador, contribuyendo con aproximadamente el 9.19% del total de la producción mundial, lo que resalta su papel estratégico en el comercio internacional de este cultivo (García-Rosas et al., 2022).

En el panorama nacional de la producción de chile, ciertos estados destacan por sus altos volúmenes de cosecha. Entre ellos, Chihuahua ocupa el primer lugar con aproximadamente 722 mil toneladas, seguido de Sinaloa con 648 mil, Zacatecas con 458 mil, San Luis Potosí con 327 mil y Sonora con cifras también significativas. Estas entidades sobresalen como líderes en la producción gracias a una combinación de factores como condiciones climáticas adecuadas y experiencia en el manejo del cultivo (Sánchez-Toledano et al., 2023).

Según los datos proporcionados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2025) en su reporte de producción agrícola mensual, hasta el 31 de marzo de 2025, a nivel nacional se ha registrado una superficie sembrada de chile verde de 32,600.79 hectáreas. De esta superficie, se ha logrado cosechar un total de 18,258.22 toneladas por superficie sembrada. Estos datos reflejan el avance en el ciclo productivo del cultivo de chile verde durante el primer trimestre del año, evidenciando una parte importante del proceso agrícola aún en desarrollo o pendiente de cosecha.

En México, la producción agrícola se lleva a cabo principalmente a través de dos esquemas: el cultivo a cielo abierto y el cultivo en condiciones protegidas. El primero, conocido como sistema a campo abierto, representa la forma más tradicional y ampliamente utilizada en el país, es especialmente común entre productores pequeños y medianos, ya que requiere una inversión inicial relativamente baja y se adapta bien a las técnicas agrícolas convencionales (Pratt & Ortega, 2019).

2.6 Bioestimulantes

En la actualidad, existen múltiples definiciones sobre el término "bioestimulante", ya que diversos autores lo describen desde distintas perspectivas. En general, se define como una sustancia o compuesto capaz de mejorar el rendimiento y desarrollo de las plantas. A continuación, se presentan algunas definiciones propuestas por distintos investigadores y especialistas en el área:

Cuadro 2. Definición de bioestimulantes.

Autor	Definición
(Halpern et al., 2015)	Los bioestimulantes vegetales son sustancias o mezclas de origen natural o sintético, excluyendo fertilizantes y productos fitosanitarios que, al aplicarse a plantas, semillas o sustratos en formulaciones específicas, modulan los procesos fisiológicos del vegetal, promoviendo un crecimiento más eficiente, mejorando el desarrollo y fortaleciendo la tolerancia frente a factores de estrés abiótico o biótico.
(du Jardin, 2015)	Los bioestimulantes se definen como sustancias que, sin ser fertilizantes, estimulan el desarrollo de las plantas cuando se aplican en pequeñas concentraciones.
Bioestimulantes Vegetales - EBIC	Un producto que estimula los procesos de nutrición de las plantas independientemente del contenido de nutrientes del producto, con el único objetivo de mejorar una o más de las siguientes características de la planta o de la rizosfera vegetal: eficiencia en el uso de nutrientes, tolerancia al estrés abiótico, rasgos de calidad, o la disponibilidad de nutrientes confinados en el suelo o la rizosfera.
(Yakhin et al., 2017)	Un producto formulado de origen biológico que mejora la productividad de las plantas

	<p>como consecuencia de las propiedades emergentes de sus constituyentes.</p> <p>El concepto de emergencia se refiere al surgimiento de propiedades novedosas que no están presentes en los componentes individuales, pero que aparecen cuando estos se organizan y alcanzan un determinado nivel de complejidad estructural.</p>
--	---

Los bioestimulantes representan una herramienta eficaz en la producción de hortalizas, ya que contribuyen al aumento del rendimiento y la productividad del cultivo. Además, fortalecen la salud vegetal y mejoran la capacidad de las plantas para enfrentar condiciones de estrés ambiental. Estos compuestos actúan positivamente sobre el metabolismo de las plantas, tanto en situaciones de crecimiento ideales como en ambientes adversos (Bulgari et al., 2019).

El uso de bioestimulantes ofrece múltiples beneficios en distintos niveles del desarrollo vegetal. En los frutos, contribuyen al cuajado, incremento del tamaño y peso, así como a la mejora de la calidad. En las semillas, favorecen la germinación y ayudan a superar el estrés asociado al trasplante. A nivel radicular, estimulan el desarrollo de las raíces; en las flores, promueven la inducción floral y la brotación (Yakhin et al., 2017). De forma general, potencian el crecimiento y el rendimiento de la planta, mejorando la absorción de agua y nutrientes, además de fortalecer la respuesta frente a diferentes tipos de estrés (Povero et al., 2016). Finalmente, el suelo también se beneficia, ya que se optimizan sus propiedades fisicoquímicas, se estimula el desarrollo de microorganismos beneficiosos, y se facilita la recuperación frente al estrés por salinidad.

Según un informe reciente de (Porcel et al., 2023) se proyecta que el mercado global de bioestimulantes alcance un valor de 4.600 millones de dólares para el año 2030. Se estima que este crecimiento ocurra a una tasa compuesta anual (CAGR) del 7.4% entre 2023 y 2030.

Esta expansión se debe, en gran medida, al aumento en la demanda del producto en diversas aplicaciones finales, como el tratamiento foliar, de semillas y de suelos.

2.6.1 Clasificación de bioestimulantes

Los bioestimulantes se definen como sustancias orgánicas y microorganismos que se aplican a los cultivos con el fin de mejorar la absorción de nutrientes, estimular el desarrollo vegetal, aumentar la resistencia al estrés y optimizar la calidad de los productos. Según Helen Veobides et al., (2018), existen distintas categorías de bioestimulantes, entre las que se incluyen hidrolizados de proteínas, extractos de algas, quitosano, ácidos húmicos y fúlvicos, así como hongos micorrízicos y bacterias promotoras del crecimiento.

Extractos de algas marinas

Los extractos de alga marinas son sustancias naturales ricas en compuestos bioactivos, que han demostrado ser eficaces en la estimulación del crecimiento vegetal, el aumento del rendimiento agrícola y la mejora de la tolerancia de las plantas frente a factores de estrés abiótico y biótico. La obtención de compuestos a partir de algas marinas puede realizarse mediante técnicas físicas, como el uso de calor, presión o microondas, así como a través de procedimientos químicos que emplean solventes, ácidos o sustancias alcalinas (Ali et al., 2021).

Hidrolizados de proteínas

Los hidrolizados de proteínas se clasifican principalmente en dos tipos: aquellos que consisten en mezclas de péptidos y aminoácidos procedentes de fuentes vegetales o animales, y aquellos formados por aminoácidos individuales como glutamato, glutamina, prolina, entre otros. Además, pueden incluir trazas de carbohidratos, minerales, compuestos fenólicos, fitohormonas y otras moléculas orgánicas en concentraciones generalmente bajas. Estos compuestos pueden aplicarse a las plantas mediante diferentes métodos, como aspersion foliar, aplicación al sistema radicular, inclusión en soluciones nutritivas, e incluso como tratamiento previo de semillas (Pasković et al., 2024).

Quitosano

El quitosano es un polisacárido que se obtiene principalmente de residuos provenientes de la industria pesquera, en particular del exoesqueleto de crustáceos, está compuesto por un

copolímero lineal de glucosamina y, en menor cantidad, de N-acetil-D-glucosamina, enlazadas a través de enlaces β -1,4. En cultivos hortícolas, su uso ha demostrado mejorar la absorción de nutrientes, lo que se traduce en un mejor crecimiento y mayor productividad de las plantas (Reyes & Rivero, 2020).

Ácidos húmicos y fúlvicos

Los ácidos húmicos y fúlvicos forman parte de los compuestos orgánicos naturales que se encuentran en el suelo. Estos se generan a partir del proceso de descomposición de materiales orgánicos como restos de vegetación, organismos animales y microorganismos (Hidalgo, 2020).

2.6.2 Extractos de algas como bioestimulante

Las algas marinas son organismos fotosintéticos que habitan en medios acuáticos, principalmente en entornos marinos, y juegan un rol crucial en el equilibrio de los ecosistemas oceánicos. Pueden presentarse en formas muy diversas, desde microalgas unicelulares hasta macroalgas pluricelulares de gran tamaño. Además de ser una fuente primaria de alimento y hábitat para numerosas especies marinas, estas algas influyen activamente en las condiciones fisicoquímicas del agua, regulando factores como la concentración de oxígeno, el pH y la disponibilidad de nutrientes (González, 2022). Su presencia es indispensable para la salud y estabilidad de los ecosistemas costeros.

Los extractos obtenidos de algas marinas se emplean con frecuencia en el ámbito agrícola como bioestimulantes del desarrollo de las plantas, representando una opción sostenible frente al uso intensivo de agroquímicos de origen sintético. Estos compuestos naturales contienen una combinación diversa y compleja de sustancias bioactivas, entre las que se incluyen fitohormonas, polisacáridos, compuestos fenólicos, aminoácidos, esteroides, betaínas, vitaminas, así como elementos minerales tanto macro como micro (Espinosa & Hernández, 2020).

2.6.3 Algas pardas

Las algas pardas o cafés por su color común, pertenecientes a la clase Phaeophyceae, desempeñan un rol ecológico crucial en los ecosistemas marinos, especialmente en las zonas rocosas del litoral y el sublitoral de áreas templadas y tropicales. Estas macroalgas forman extensas estructuras sumergidas, similares a bosques submarinos, que no solo contribuyen a

la productividad primaria mediante la fotosíntesis, sino que también generan hábitats complejos que sustentan una elevada biodiversidad (Terry Alfonso et al., 2024). Debido a su capacidad para fijar carbono y producir materia orgánica, las algas pardas sirven como fuente directa de alimento y como refugio natural para numerosas especies de invertebrados marinos, como crustáceos, moluscos y equinodermos. Además, su presencia favorece el equilibrio ecológico y la estabilidad de las comunidades bentónicas, al mismo tiempo que influyen en los ciclos biogeoquímicos del entorno marino. Debido a estas funciones ecológicas clave, las algas pardas son consideradas componentes estructurales esenciales en los ecosistemas costeros (Mendoza-González et al., 2020). Las algas pardas de grandes dimensiones (especies *Laminaria* y *Ascophyllum*) en Europa, *Sargassum* en países más cálidos como Filipinas son los más utilizados pero la aparición de productos químicos sintéticos ha reducido su mercado (Medjdoub Ratiba, 2020).

Este tipo de algas se utilizan ampliamente en la agricultura como bioestimulantes, promotores del crecimiento vegetal, mejoradores de las condiciones del suelo o activadores del metabolismo de las plantas (Espinosa & Hernández, 2021). Su uso es común tanto en cultivos al aire libre como en sistemas bajo invernadero, beneficiando a distintas especies agrícolas como verduras, legumbres, cereales, frutales y plantas decorativas.

Según León & Núñez, (2017) estas son algunas de las características generales de las algas pardas:

Estructura celular.

- Solo las células reproductivas poseen flagelos (en Dictyotales, los gametos masculinos tienen un solo flagelo).
- La pared celular tiene una capa interna de microfibrillas de celulosa y una externa gelatinosa rica en alginatos (usados en la industria alimentaria y cosmética).
- Cada célula contiene un único núcleo, a menudo acompañado de fisodes, que son cuerpos con compuestos fenólicos que protegen contra la radiación solar y depredadores.

Cloroplastos o feoplastos:

- Presentan formas variadas (laminar, discoidal o estrellada) y pueden estar en posición axial o cerca de la pared celular.
- Pueden incluir una mancha ocular o estigma con función fotoreceptora.
- Su coloración típica (parda o amarilla) se debe a la fucoxantina, que domina sobre otros pigmentos como clorofilas a y c, β -caroteno y violaxantina.

Tamaño y forma.

- Varían desde formas microscópicas hasta gigantes como *Macrocystis pyrifera*, que puede superar los 100 metros de largo.

2.6.4 *Sargassum* ssp.

El género *Sargassum* fue identificado por primera vez en el año 1820 y, en la actualidad, incluye aproximadamente 400 especies reconocidas taxonómicamente que presentan una amplia variedad de formas. Esta diversidad morfológica, conocida como plasticidad, puede manifestarse incluso entre individuos de la misma especie como respuesta a factores como las condiciones ambientales, las estaciones del año, la edad del organismo o su fase reproductiva. En términos generales, las especies de *Sargassum* presentan un talo dividido en un eje principal, el cual se ramifica en múltiples segmentos que contienen estructuras semejantes a hojas, vesículas llenas de gas y receptáculos reproductivos, con características y dimensiones variables (Catarino et al., 2023).

La acumulación masiva de biomasa de sargazo, que se extiende desde el Océano Atlántico hasta el Mar Caribe, ha sido identificada como el Gran Cinturón de Sargazo del Atlántico. Esta gigantesca concentración de algas marinas provoca un arribo constante de grandes cantidades de sargazo a las costas, donde quedan depositadas, ocasionando severos impactos en distintos ámbitos, incluyendo el medio ambiente, los ecosistemas y las economías locales (Sariñana et al., 2021).

El arrastre continuo de sargazo hacia las playas, seguido de su descomposición, constituye una amenaza significativa para las zonas costeras. Entre las principales consecuencias se encuentra la liberación de gases tóxicos como el sulfuro de hidrógeno y el amoníaco durante su degradación, los cuales pueden afectar negativamente la salud de las personas expuestas (López Miranda et al., 2021).

Las prácticas más efectivas para la remoción del sargazo en zonas costeras se han desarrollado principalmente mediante un proceso de ensayo y error. Se recomienda retirar las acumulaciones de sargazo dentro de las primeras 72 horas tras su arribo a la playa, a fin de minimizar sus impactos ambientales. Cuando las cantidades son moderadas, la recolección debe realizarse manualmente. Solo en casos donde esto no sea viable, puede emplearse maquinaria ligera, procurando no dañar la estructura natural de la playa ni afectar la biodiversidad presente en los ecosistemas de dunas y litoral (Chávez et al., 2020).

Se ha comprobado que las especies del género *Sargassum* poseen una gran diversidad de metabolitos bioactivos, los cuales presentan un alto potencial de aplicación en distintos sectores industriales, como el de los biocombustibles, los nutraceuticos, la farmacología y la cosmética. A pesar de que existen más de 400 especies identificadas dentro de este género, únicamente 78 han sido objeto de estudio en cuanto a sus propiedades funcionales y compuestos fitoquímicos (Lee et al., 2022).

2.7 Bioprocesos

Los bioprocesos son fundamentales en sectores como el alimentario, químico y farmacéutico. Consisten en el uso de células microbianas, vegetales o animales y de sus componentes, como las enzimas, para la síntesis de productos novedosos o la degradación de desechos tóxicos (Ortega Quintana et al., 2017). Los extractos de macroalgas están disponibles comercialmente tanto en forma líquida como en polvo soluble. Estos extractos se distinguen por ser biodegradables, no tóxicos y seguros para otros organismos vivos, su obtención implica el uso de bioprocesos específicos, los cuales permiten desarrollar bioestimulantes agrícolas eficaces y sostenibles (Florez-Jalixto et al., 2021).

2.7.1 Tipos de fermentación

La fermentación es un proceso biológico que ocurre gracias a la acción de ciertos microorganismos. Tal es el caso de *Aspergillus niger* que por acción de enzimas extracelulares como celulasa y xilanasas que el microorganismo produce ayuda a descomponer la pared celular de las algas, liberando así compuestos bioactivos como flavonoides, compuestos fenólicos y polisacáridos (Carreira-Casais et al., 2021).

El desarrollo de los microorganismos depende de condiciones específicas, que se clasifican en factores biofísicos, relacionados con el entorno, y factores bioquímicos, vinculados al medio. Los medios de cultivo son responsables de suministrar los nutrientes y compuestos bioquímicos necesarios para favorecer el crecimiento microbiano. Cabe resaltar que estos medios están diseñados para satisfacer las necesidades de ciertos grupos de microorganismos, por lo que su eficacia se limita a especies concretas (Apaza & Sotomarino, 2024).

2.7.2 Fermentación en medio líquido

La fermentación en medio líquido (FML), también conocida como fermentación sumergida, es una técnica utilizada para cultivar microorganismos en un medio completamente líquido, donde los nutrientes están disueltos en su totalidad. Este proceso se realiza bajo condiciones fisicoquímicas estrictamente controladas. Entre sus principales ventajas se destacan la homogeneidad del sistema, la facilidad para regular parámetros como la temperatura, la aireación, la agitación y el pH, así como una distribución más eficiente del oxígeno y del calor dentro del medio (Marín Cortez et al., 2019). No obstante, debido a la complejidad del medio y a las características particulares de las cepas fúngicas utilizadas, este tipo de fermentación puede resultar técnicamente exigente.

2.7.3 Fermentación en medio sólido

La fermentación en medio sólido (FMS) se refiere al cultivo de microorganismos sobre sustratos sólidos que poseen un contenido de humedad adecuado para sustentar su crecimiento y metabolismo, aunque sin la presencia de agua libre circulante. En este proceso, el sustrato cumple una doble función: aporta los nutrientes necesarios y actúa como soporte físico para la inmovilización de las células. Este tipo de fermentación ofrece un ambiente particularmente favorable para el desarrollo de hongos, lo que permite alcanzar altos niveles de productividad (Velázquez & Benavente, 2016).

2.8 Generalidades del hongo *Aspergillus niger*

Aspergillus niger pertenece al grupo de los aspergilos negros y se clasifica taxonómicamente dentro de la familia Moniliaceae, perteneciente al orden Moniliales, la clase Hyphomycetes. *A. niger* es una especie fúngica que ha mostrado una destacada capacidad para degradar compuestos aromáticos complejos. Esta facultad se debe, en gran parte, a su habilidad para

adaptarse y desarrollarse en diversos entornos (Blanco J. Araujo & Rojas, 2016). Las notables capacidades de *A. niger* lo posicionan como uno de los microorganismos más eficientes para la producción industrial de ácido cítrico, gracias a su alta tasa de rendimiento, facilidad de cultivo y resistencia a diversas condiciones ambientales.

Además, su metabolismo versátil no solo optimiza la síntesis de este ácido orgánico, sino que también juega un papel fundamental en los procesos de fermentación, mejorando la eficiencia y la calidad del producto final en diversas aplicaciones biotecnológicas e industriales (Cairns et al., 2018). Este microorganismo es capaz de generar una variedad significativa de enzimas, entre las que se incluyen las amilasas, fitasas y proteasas, las cuales desempeñan funciones esenciales en distintos procesos industriales. Estas enzimas permiten la descomposición eficiente de compuestos complejos, lo que amplía su utilidad en áreas como la producción de alimentos, la nutrición animal, la agricultura y otras aplicaciones biotecnológicas (Millán-Chiu et al., 2023). De acuerdo con Sáez & Floréz, (2002) algunas de las características de este hongo son las siguientes:

- Las cabezas conidiales presentan una gama de colores que incluye negro, negro grisáceo, marrón oscuro, púrpura negruzco o negro carbón. Morfológicamente, pueden adoptar formas globosas, radiadas o dividirse en columnas compuestas por cadenas de conidios, las cuales pueden estar organizadas de manera definida o con una disposición irregular.
- Los conidióforos presentan una tonalidad marrón, suelen tener una superficie lisa, aunque en ciertas especies pueden mostrar una leve textura granulada. Sus paredes son gruesas y frágiles, y tienden a fracturarse de forma longitudinal cuando se trituran.

Los conidios pueden ser de forma globosa, sub globosa, elíptica o ligeramente aplanada en sentido horizontal. Su superficie varía entre lisa o casi lisa, espinosa, o con estrías longitudinales bien definidas.

2.9 Estrés salino

Según Cramer et al., (2011) el estrés abiótico se refiere a factores ambientales que limitan el crecimiento y la productividad de las plantas por debajo de su potencial óptimo. Las respuestas fisiológicas de las plantas frente a estos estresores son complejas y están en constante cambio; pueden manifestarse como respuestas que son reversibles o que generan

cambios permanentes en su estructura o funcionamiento, los cuales varían según la especie vegetal y su fase de desarrollo. Estas respuestas pueden incluir ajustes fisiológicos, bioquímicos y moleculares que les permiten mantener su funcionalidad y sobrevivir en entornos adversos (Sade et al., 2018).

La salinidad del suelo es un fenómeno que se produce debido a la acumulación progresiva de sales solubles en la zona radicular, las cuales pueden afectar negativamente el desarrollo y rendimiento de los cultivos. Entre los iones más comunes que contribuyen a este proceso se encuentran el cloruro (Cl^-), el bicarbonato (HCO_3^-), el sodio (Na^+), el calcio (Ca^{2+}) y el magnesio (Mg^{2+}). Estas sales, cuando se presentan en concentraciones elevadas, alteran el equilibrio osmótico del suelo, dificultando la absorción de agua por parte de las plantas y provocando estrés hídrico, incluso cuando el contenido de humedad en el suelo parece adecuado (Mariani & Ferrante, 2017).

2.9.1 Efecto de la salinidad en el rendimiento y calidad de los cultivos

La salinidad del suelo representa un factor adverso que afecta significativamente el desarrollo de los cultivos. En condiciones salinas, el potencial osmótico del suelo se vuelve más negativo que el de las plantas, lo que dificulta la absorción de agua a través de las raíces. Esta situación genera un estrés hídrico, incluso cuando el agua está presente en el entorno. Además, la salinidad provoca otros efectos negativos, como la reducción en la disponibilidad y absorción de nutrientes esenciales, la presencia excesiva de ciertos iones que pueden inducir toxicidad (Cabezas Gutiérrez et al., 2023). Estas acumulaciones pueden interferir con procesos fisiológicos clave, afectando el crecimiento, la fotosíntesis y la productividad general del cultivo.

Una gran parte de las áreas agrícolas que presentan problemas de salinidad se ubican en zonas de clima árido o semiárido, donde las condiciones climáticas severas tienden a empeorar esta situación. En estos ambientes, la salinidad del suelo no constituye un factor limitante por sí sola, sino que su efecto se ve intensificado por elementos climáticos como las elevadas temperaturas (Mariani & Ferrante, 2017).

2.10. Antioxidantes

Las frutas y las hortalizas se caracterizan por su riqueza en compuestos bioactivos, destacándose entre ellos los antioxidantes (Patricio et al., 2015). Un antioxidante se define

como toda molécula capaz de prevenir, reducir o eliminar el daño oxidativo que sufren otras moléculas, mediante la neutralización o eliminación de especies reactivas de oxígeno, nitrógeno o azufre generadas durante situaciones de estrés oxidativo (Sariñana et al., 2021). Estos antioxidantes abarcan una diversidad de estructuras químicas, y dentro de los más representativos se encuentran la vitamina C, la vitamina E, los polifenoles, los carotenoides y los terpenoides, entre otros (Pérez Jara & Saura Fulgencio, 2007). De acuerdo con Ordoñez-Gómez et al., (2018) la capacidad de los polifenoles para neutralizar radicales libres se considera un indicador fundamental al momento de evaluar las propiedades antioxidantes de estos alimentos. Esta actividad antioxidante contribuye no solo a la conservación de los alimentos, sino también a la prevención de enfermedades crónicas en el ser humano. Los compuestos fenólicos se encuentran en alimentos de origen vegetal, como frutas, legumbres y diversas plantas. Estos compuestos contribuyen significativamente a la calidad del producto final, ya que influyen en características como el sabor, la apariencia y otras propiedades organolépticas (Zaldivar et al., 2023).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del experimento

El experimento en campo se desarrolló en el invernadero del Departamento de Horticultura, localizado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con coordenadas geográficas 25°21'21.4"N y 101°02'11.0"W. La fase de producción y caracterización del fermento se llevó a cabo en el Laboratorio de Fermentaciones y Biomoléculas, perteneciente al Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, dentro de la misma institución. Adicionalmente, los análisis de calidad nutracéutica se realizaron en la planta piloto de Biorrefinería del Departamento de Investigación en Alimentos de la Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC).

3.2 Material vegetal

El material vegetal empleado consistió en semillas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.), híbrido Durango F-1, adquiridas en la tienda comercial Starseeds International Inc., ubicada en Puebla, México.

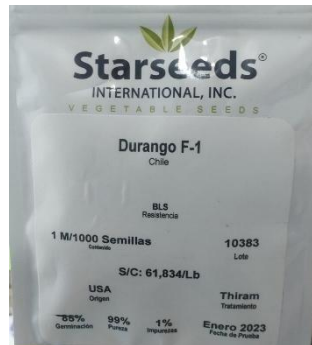


Figura 1. Semilla utilizada de la casa comercial Starseeds.

Para el proceso de germinación, se emplearon charolas con 200 cavidades, utilizando como sustrato una mezcla en proporción 1:1 de peat moss y perlita.



Figura 2. Plántulas de chile jalapeño.

3.3 Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial 2*4. Para el factor A: condiciones de estrés salino (0 mM y 100 mM de NaCl) y para el factor B: concentraciones del fermento (0%, 0.5%, 1.5% y 2.5%), se consideraron 3 plantas por unidad experimental. Los tratamientos fueron: un control absoluto (CA), un control salino (CS), y tres concentraciones del bioestimulante (0.5%, 1.5% y 2.5%) (sin estrés) y tres concentraciones del bioestimulante (0.5% +S, 1.5%+S y 2.5%+S) (con estrés).



Figura 3. Diseño experimental de bloques completos al azar.

La aplicación de los tratamientos se realizó por vía drench, comenzando con la primera aplicación al momento del trasplante y repitiéndose cada 15 días, para un total de nueve aplicaciones a lo largo del ciclo del cultivo. En cada aplicación se administraron 80 mL de bioestimulante por planta. El estrés salino se indujo a los 15 días después del trasplante (DDT) mediante la irrigación con una solución de 100 mM de NaCl, mantenida durante todo el ciclo de producción.



Figura 4. Tratamientos aplicados del fermento a diferentes concentraciones.

3.4 Trasplante

El trasplante se efectuó a los 60 días posteriores a la siembra, etapa en la cual las plántulas presentaban un desarrollo adecuado para su establecimiento en condiciones controladas. Las plantas fueron movidas individualmente a macetas tipo bolsa de polietileno con una capacidad de 10 L, permitiendo un adecuado volumen radicular para su desarrollo durante todo el ciclo del cultivo.

Como medio de cultivo se empleó una mezcla sustrato compuesta por peat moss y perlita en una proporción (1:1), lo cual proporcionó una estructura física adecuada, con buena retención de humedad, aireación y drenaje, favoreciendo un entorno óptimo para el crecimiento de las raíces y la absorción de nutrientes.

3.5 Nutrición del cultivo

Para la nutrición de las plantas se realizó mediante un sistema de riego por goteo empleando solución Steiner (1961), misma que fue modificada según la etapa fenológica del cultivo. El pH se ajustó a 6.5 empleando ácido sulfúrico (H_2SO_4). En su investigación Steiner, (1961) sugirió que la composición química de la solución nutritiva está influenciada por la interacción entre aniones y cationes, así como por la concentración total de iones, que se puede expresar en términos de potencial osmótico, y por el pH.

El principio de interacción iónica recíproca fue planteado por Steiner en 1961, y establece que una solución nutritiva debe mantener un equilibrio adecuado entre sus principales nutrientes, particularmente en lo que respecta a los aniones como el nitrato (NO_3^-), el fosfato (H_2PO_4^-) y el sulfato (SO_4^{2-}). Este equilibrio no se limita únicamente a la concentración individual de cada ion, sino que también contempla la proporción relativa entre los cationes y los aniones presentes (Lara-Herrera, 1999). Mantener estas relaciones es fundamental para asegurar una absorción eficiente de nutrientes por parte de las plantas y prevenir desequilibrios nutricionales que puedan afectar su desarrollo.

El modelo de solución de Steiner (1968) establece que, en una auténtica solución nutritiva, todos los iones deben encontrarse en una forma libre y activa. Además, el pH juega un papel crucial en la disponibilidad de ciertos iones (Juárez & Hernández, 2001).

3.6 Producción del fermento en medio líquido

Se utilizó la cepa *Aspergillus niger* M4 (código KY825168.1) proveniente del Laboratorio de Fermentaciones y Biomoléculas, ubicado en el Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la UAAAN. La cepa fue conservada a -20 °C en un crioprotector compuesto por glicerol y leche desnatada. Para su reactivación, se sembró en medio papa dextrosa agar (PDA) y se incubó a 30 °C durante 8 días para su crecimiento.

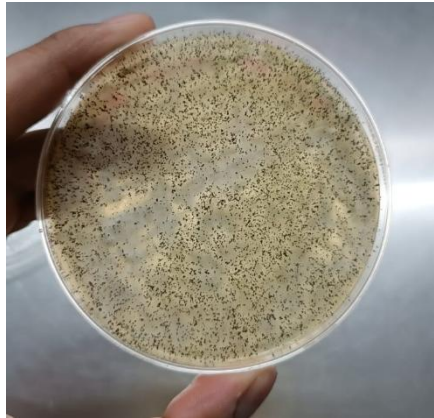


Figura 5. Hongo *Aspergillus niger*.

Como sustrato para la fermentación del hongo se utilizó alga *Sargassum* spp. recolectada en el mar Caribe de México (Playa del Carmen). La biomasa fue lavada tres veces con agua del grifo y secada a 70 °C durante 72 horas. Posteriormente, se maceró y tamizó hasta obtener partículas con un tamaño de partícula menor de 0.5 mm de diámetro.



Figura 6. Alga parda: *sargassum* spp secada y tamizada.

El proceso de fermentación se llevó a cabo en un sistema líquido, utilizando el medio Czapek-Dox modificado con los siguientes componentes: extracto de levadura (7.63 g L^{-1}), KH_2PO_4 (3.04 g L^{-1}), MgSO_4 (1.52 g L^{-1}) y KCl (1.52 g L^{-1}), manteniendo una relación C:N de 4.45.

Para la producción del fermento, se colocaron 50 mL del medio Czapek-Dox en matraces Erlenmeyer de 250 mL de capacidad y se añadieron 5 g de *Sargassum* spp. como fuente de carbono. Se inoculó una concentración de 1×10^6 esporas de *Aspergillus niger* M4 por mililitro de medio de cultivo. Los matraces fueron incubados en un agitador orbital Innova® a 150 rpm y a una temperatura de $30 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 192 horas. Cada 48 horas se realizó una cinética para medir la biomasa producida.

El filtrado final obtenido a las 48 h fue empleado como el fermento líquido que se aplicó a las plantas de chile jalapeño.

3.7 Variables agronómicas evaluadas

3.7.1 Altura

La altura de la planta se evaluó midiendo la distancia desde la base del tallo, a nivel del sustrato, hasta la última yema apical. Para ello, se utilizó un flexómetro de precisión marca Pretul, modelo PRO-8ME, con una longitud máxima de 5 metros y una graduación en centímetros. Las mediciones se realizaron de manera cuidadosa para asegurar la verticalidad de la planta al momento de la evaluación. Los resultados obtenidos se expresaron en centímetros (cm).

3.7.2 Diámetro de tallo

El diámetro del tallo se determinó utilizando un vernier digital marca Steren, con el cual se realizaron dos mediciones por planta: una en la base del tallo, a nivel del sustrato, y otra en la porción media del tallo. Estas mediciones permitieron obtener una estimación más precisa del grosor del tallo en diferentes secciones. Los datos recolectados se expresaron en milímetros (mm).

3.7.3 Número de hojas

El número de hojas se determinó mediante el conteo directo del total de hojas desarrolladas por planta, excluyendo las hojas cotiledóneas. Esta evaluación se realizó de forma manual, contabilizando únicamente las hojas verdaderas presentes al momento de la medición, con el fin de obtener un indicador confiable del desarrollo vegetativo.

3.7.4 Rendimiento

El rendimiento se determinó al momento de la cosecha, la cual se realizó mediante corte manual. Para establecer el punto óptimo de recolección, se consideraron criterios morfológicos como el tamaño uniforme del fruto, la intensidad del color característico de madurez y el brillo superficial, indicadores comúnmente asociados con la calidad comercial. Una vez seleccionados los frutos, se procedió a registrar el peso individual de cada uno, tomando en cuenta todos los tratamientos experimentales y sus respectivas repeticiones. Estos datos permitieron calcular el rendimiento promedio por tratamiento y evaluar las diferencias en productividad asociadas a cada condición experimental.



Figura 7. Cosechas de diferentes tratamientos: control absoluto (CA), T3: sin estrés salino con la aplicación del fermento al 0.5%, T4: sin estrés salino con la aplicación del fermento al 1.5%.

3.8 Variables de calidad del fruto

3.8.1 Almacenamiento y liofilización de fruto

Se seleccionaron frutos con un tamaño uniforme para cada tratamiento y se congelaron de forma inmediata a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Posteriormente, se sometieron a un proceso de liofilización bajo condiciones controladas de temperatura ($-89\text{ }^{\circ}\text{C}$) y presión (0,110 mBar), utilizando un

equipo FreeZone 2.5 (Labconco, MO, EE. UU.). Tras la liofilización, las muestras fueron molidas en mortero hasta obtener un polvo fino, el cual se almacenó adecuadamente hasta la realización de los análisis correspondientes en tejido liofilizado.



Figura 8. Muestras de fruto de chile jalapeño en proceso de liofilización.

3.8.2 Extracción de compuestos bioactivos

La extracción de compuestos bioactivos se realizó con la metodología descrita por Sariñana-Navarrete et al., (2023) con algunas modificaciones. Se pesaron 250 mg de frutos liofilizados y 25 mg de polivinilpirrolidona, seguido de la adición de 5 mL de tampón fosfato (pH 7.0) (0.1M), se agitó durante 5 segundos en vortex, luego se extrajo por ultrasonido durante 5 minutos, se centrifugó a 12,500 rpm por 10 minutos a 4°C, el sobrenadante se filtró con filtros de membrana de nylon de 0.45µm. Se realizó una dilución 1:15 con tampón de fosfato y se almacenó a -20°C. Este extracto se utilizó para determinar compuestos antioxidantes de los siguientes ensayos: ABTS y DPPH.

3.8.3 Capacidad antioxidante en frutos

La capacidad antioxidante por ABTS se determinó de acuerdo con Charles-Rodríguez et al., (2020). En placa de 96 pocillos se colocaron 10 µL del líquido fermentado y 200 µL de la solución ABTS, se homogeneizaron y se mantuvieron en oscuridad por 10 minutos. La absorbancia se leyó a 750 nm en un lector de microplaca (TECAN-Sunrise). La capacidad antioxidante ABTS se expresó en equivalentes de trolox (TEAC g⁻¹ PS).

La capacidad antioxidante por DPPH fue determinada según Charles-Rodríguez et al., (2020). En placa de 96 pocillos se colocaron 25 μL del extracto y 200 μL de la solución DPPH, se homogeneizaron y se mantuvieron en oscuridad por 30 minutos. La absorbancia se leyó a 520 nm en un lector de microplaca (TECAN-Sunrise). Los resultados se expresaron como equivalentes de trolox por gramo de peso seco (TEAC g^{-1} PS).

3.8.4 Fenoles totales

Se determinó por el método de Folin-Ciocalteu según la metodología de Singleton et al., (1999) con algunas modificaciones. Para la extracción se pesaron 100 mg del fruto liofilizado y se colocó en tubos de eppendorf, posteriormente con una micropipeta se agregaron 2.0 mL de la mezcla agua: acetona 1:1, poner en vortex por 10 s, posteriormente la muestra se sónico durante 5 minutos, se centrifugó a 12,000 rpm durante 10 minutos a 4 °C y finalmente obtener el sobrenadante y se filtra. Para la cuantificación: se tomaron 50 μL del extracto, se agregaron 200 μL del reactivo de Folin Ciocalteu 1M, seguido de la adición de 500 μL de carbonato de sodio al 20%, se añadieron 5 mL de agua destilada, se dejó reposar durante 30 minutos a temperatura de 45°C y se leyó a 734 nm en un lector de microplaca (TECAN-Sunrise). Los fenoles totales se cuantificaron mediante una curva estándar de ácido gálico y los resultados se expresaron en equivalente de Acido gálico por gramo de peso seco (mg GAE g^{-1} PS).

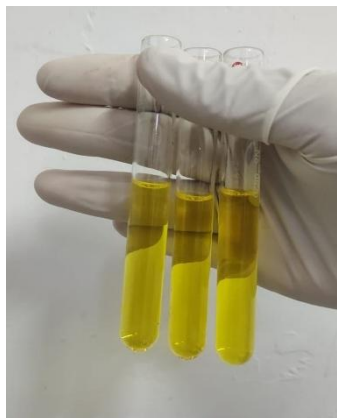


Figura 9. Determinación de fenoles totales mediante el método de Folin-Ciocalteu.

3.8.5 Flavonoides

Los flavonoides se cuantificaron siguiendo el método de Zhishen, (1999) la determinación se llevó a cabo depositando 250 μL del líquido fermentado en tubos de ensayo, para después agregar 75 μL de NaNO_2 al 5% y se agito mediante vortex, se dejó reposar durante 5 minutos,

posteriormente se agregaron 150 μL de AlCl_3 al 10%, seguido de la adición de 500 μL de NaOH 1M y se completó con 2.025 mL de agua destilada. La absorbancia se midió a 510 nm en espectrofotómetro (Velab-8000A). Los flavonoides se expresaron en equivalentes de catequina por gramo de peso seco (mg EC g^{-1} PS).

3.8.6 Vitamina C

La vitamina C en el fruto se determinó según Sariñana-Navarrete et al., (2023) con algunas modificaciones. El ácido metafosfórico (HPO_3 0.36 M) se utilizó como solución de extracción. A continuación, se añadieron 5 mL de solución a 50 mg del fruto liofilizado y se extrajeron por ultrasónido durante 5 minutos, luego se centrifugó a 5000 rpm por 10 minutos a 4°C . Se colocaron 50 μL del extracto en una placa de 96 pocillos seguido de la adición de 180 μL de 2,6 diclorofenolindofenol al 0.1 M, se incubó a temperatura ambiente por 15 segundos y se leyó la absorbancia a 515 nm (TECAN-Sunrise). Los resultados se expresaron en equivalentes de Acido Ascórbico por gramo de peso seco (mg AAE g^{-1} PS).

3.8.7 Carotenoides

Los carotenoides en el fruto se determinaron con el método descrito por Lichtenthaler & Bushman, (2001) , con algunas modificaciones, para lo cual, se agregaron 60 mg de fruto liofilizado en un tubo de ensayo, para luego adicionar 5 mL de metanol puro e incubar a temperatura ambiente en oscuridad por 24 h para la extracción completa de los pigmentos y los carotenoides por diferencia. Los resultados se expresaron en mg g^{-1} peso seco. Empleando las siguientes formulas:

$$chl\ a = (15.65 \times Abs\ 666) - (7.34 \times Abs\ 653)$$

$$chl\ b = (27.05 \times Abs\ 653) - (11.21 \times Abs\ 666)$$

$$Carotenoides\ totales = \frac{(1000 \times Abs\ 470) - (2.86 \times Chl\ a) - (129.2 \times chl\ b)}{221}$$



Figura 10. Determinación de carotenoides en frutos de chile jalapeño.

4.0 Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) y una comparación de medias por la prueba LSD de Fisher ($p \leq 0.05$) utilizando el programa estadístico Infostat versión 2016.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 3. Se puede observar que los tratamientos que fueron estresados con cloruro de sodio (100 mM) fueron inferiores a los tratamientos sin estrés (0 mM). Así mismo, las concentraciones del fermento sin condición de estrés mostraron diferencias significativas para la altura de la planta, pero no para el número de hojas y el diámetro del tallo. Demostrando que la concentración de 1.5% supero al testigo en un 28%, resultados similares reportados por Sariñana-Aldaco et al., (2022a) donde reportan un incremento en el crecimiento de plántulas de tomate evaluando condiciones de estrés y sin estas salino. Por otra parte, Khan et al., (2022) reportan una reducción en la altura, número de hojas y longitud de raíces al aplicar extracto de *Sargassum wightii* en el cultivo de okra sometido a estrés salino, esto se debe a que el NaCl afecta el metabolismo de la planta, afectando el cierre de estomas y reduciendo la fotosíntesis ocasionando un desbalance en la absorción de agua y nutrientes.

Cuadro 3. Efecto de la aplicación de un extracto fermentado a partir de *Sargassum* spp. sobre variables agronómicas en plantas de chile jalapeño bajo estrés salino.

Factor	Tratamiento	Altura de la planta (cm)	Número de hojas	Diámetro de tallo (mm)
NaCl (mM)	0	57.93 ^a	151.22 ^a	10.98 ^a
	100	27.51 ^b	39.73 ^b	6.54 ^b
ANOVA		<0.0001	<0.0001	<0.0001
Fermento	0	38.76 ^b	95.16 ^a	9.00 ^a
	0.5%	44.38 ^{ab}	95.41 ^a	8.68 ^a
	1.5%	49.50 ^a	99.08 ^a	8.94 ^a
	2.5%	38.24 ^b	92.25 ^a	8.43 ^a
ANOVA		0.0037	0.9065	0.2965
Interacciones	0-0	53.18 ^{bc}	152.15 ^a	11.45 ^a
	0-0.5%	59.25 ^b	153.50 ^a	11.05 ^{ab}
	0-1.5%	71.08 ^a	157.73 ^a	11.28 ^a
	0-2.5%	48.23 ^c	141.50 ^a	10.15 ^b
	100-0	24.35 ^d	38.18 ^b	6.55 ^c
	100-0.5%	29.50 ^d	37.33 ^b	6.30 ^c
	100-1.5%	27.93 ^d	40.43 ^b	6.60 ^c
	100-2.5%	28.25 ^d	43.00 ^b	6.70 ^c
ANOVA		0.0095	0.7188	0.1272
C.V %		14.49	19.33	7.46

Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD, $p < 0.05$) C.V: coeficiente de variación.

El rendimiento no presentó diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo, los tratamientos que no se les aplicó estrés salino fueron superiores a los que si recibieron estrés (Figura 10).

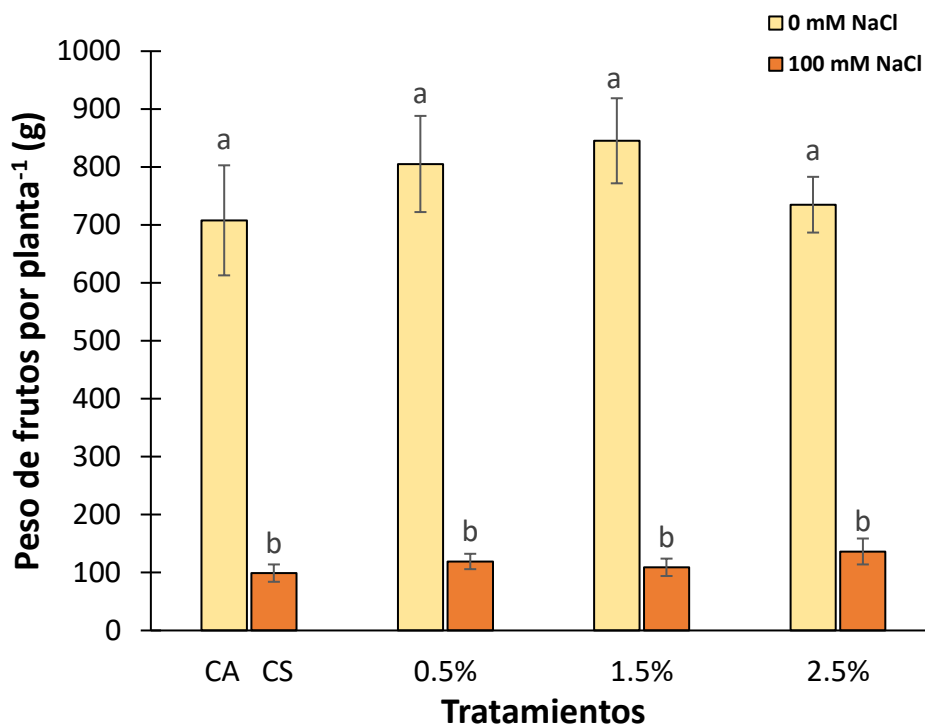


Figura 11. Peso de frutos por planta (g) de chile jalapeño. Medias con letra común no son significativamente diferentes según LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

Calidad en los frutos de chile jalapeño

Los antioxidantes no enzimáticos comprenden una variedad de compuestos que desempeñan un papel esencial en la defensa contra el estrés oxidativo (Rudenko et al., 2023). Estos participan en la desintoxicación de las ROS bajo diferentes estreses ambientales (Llauradó Maury et al., 2020).

Capacidad antioxidante por el ensayo de ABTS

En la presente investigación el contenido de antioxidantes por el ensayo de ABTS (Figura 12) presentó diferencias significativas para los tratamientos que recibieron la aplicación del fermento y el estrés salino, se puede observar que el tratamiento de 0.5% (con estrés) incremento un 107% comparado con el control salino. Sin embargo, los tratamientos sin estrés no fueron diferentes estadísticamente. Estos resultados coinciden con los reportados por (Sariñana-Aldaco et al., 2021) quienes encontraron un aumento en el contenido de

antioxidantes (ABTS) al aplicar extractos hidroalcohólicos de *Sargassum* spp. en plántulas de tomate. Las algas pardas contienen compuestos antioxidantes, polisacáridos y minerales que ayudan a mejorar la calidad del cultivo (Sariñana-Aldaco et al., 2025).

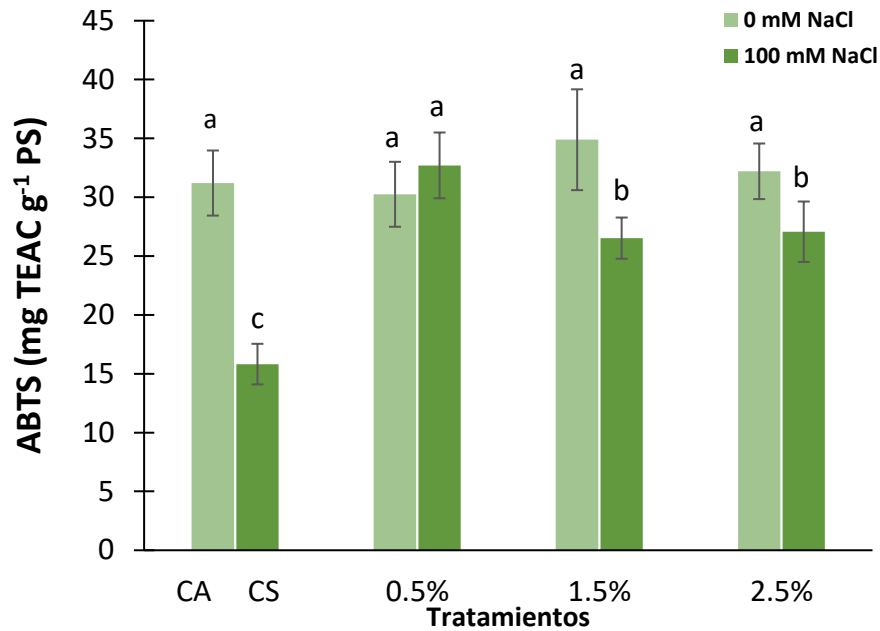


Figura 12. Capacidad antioxidante por el ensayo de ABTS en frutos de chile jalapeño. Medias con letra común no son significativamente diferentes según LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

Capacidad antioxidante por el ensayo de DPPH

Para la capacidad antioxidante (DPPH) los tratamientos sin estrés (0.5%, 1.5% y 2.5%) con la aplicación del fermento disminuyeron en un 39.1%, 86.9% y 49.34% respectivamente comparado con el control absoluto. Y los tratamientos con estrés (0.5%, 1.5% y 2.5%) tuvieron una disminución en un 56.8%, 36.3% y 72.2% correspondientemente comparado con el control salino.

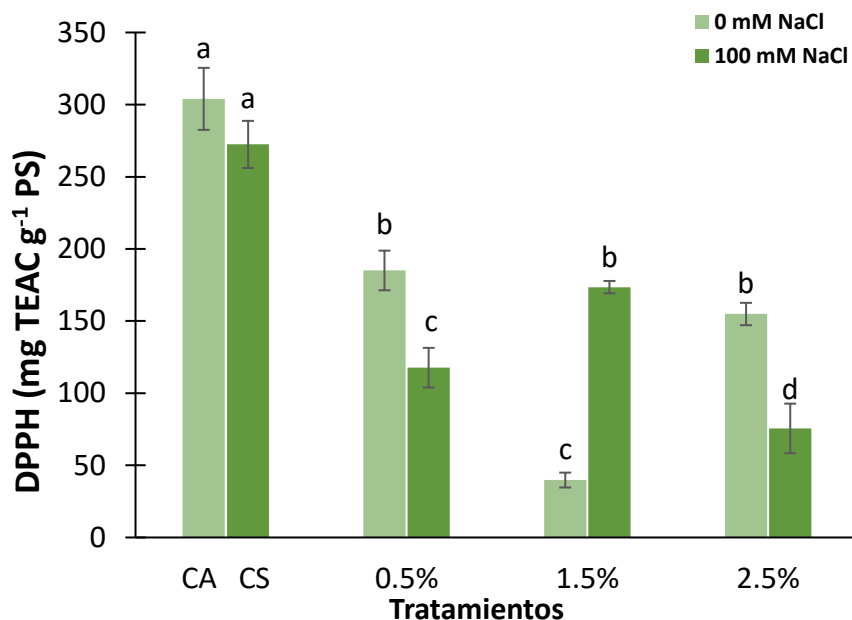


Figura 13. Capacidad antioxidante por el ensayo de DPPH en frutos de chile jalapeño. Medias con letra común no son significativamente diferentes según LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

Fenoles totales

El contenido de fenoles totales no presentó diferencias significativas entre tratamientos (Figura 14), sin embargo, se puede observar un ligero incremento entre los tratamientos con estrés y sin estrés comparado con su control respectivamente.

Este comportamiento podría explicarse como una respuesta fisiológica a los estímulos generados tanto por los tratamientos con el fermento de *Sargassum* spp. como por el estrés salino inducido por la aplicación de cloruro de sodio (NaCl). De acuerdo con esto, la investigación de (Santander et al., 2022) reportó resultados similares en cultivos de lechuga roja, donde la aplicación de concentraciones elevadas de NaCl (150-200 mM) promovió un incremento en la producción de compuestos fenólicos. Sin embargo, este aumento se acompañó de una disminución en la actividad antioxidante.

Por su parte (Pungin et al., 2023), observaron que el contenido de fenoles totales está directamente influenciado por la concentración de NaCl. En su estudio, las plantas de *Glaux maritima* expuestas a concentraciones de entre 100 y 500 mM de NaCl presentaron una reducción en dichos compuestos, lo que sugiere un efecto inhibitorio en condiciones de estrés salino más severo.

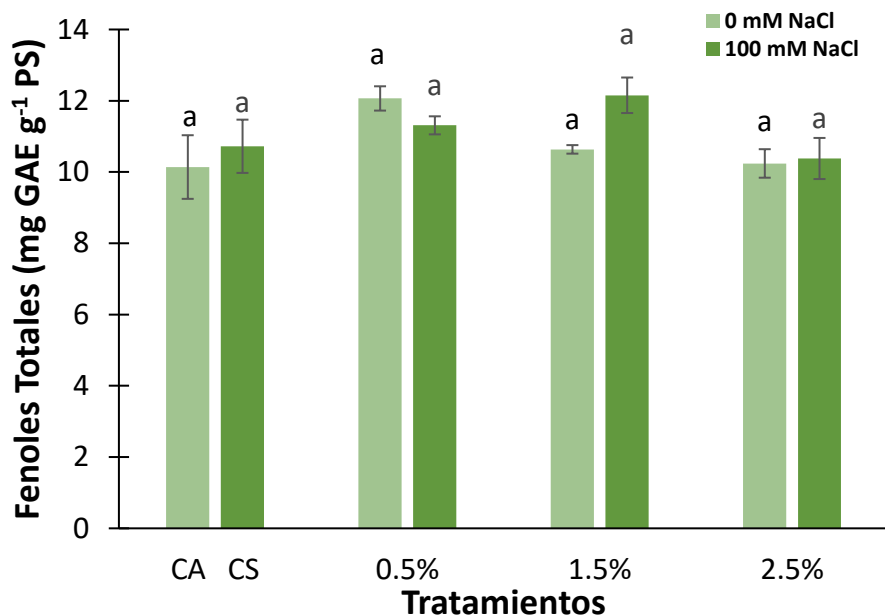


Figura 14. Fenoles totales en frutos de chile jalapeño. Medias con letra común no son significativamente diferentes según LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

Flavonoides

En cuanto al contenido de flavonoides (Figura 15), los resultados no reflejaron diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, en los tratamientos sometidos a estrés salino, la aplicación del fermento a concentraciones de 0.5% y 2.5% generó ligeros incrementos en el contenido de flavonoides, con aumentos del 1.2% y 3.4%, respectivamente. Aunque los resultados no reflejaron diferencias marcadas, es posible inferir que los ligeros incrementos en el contenido de flavonoides en los tratamientos con NaCl estuvieron influenciados por la aplicación del fermento de *Sargassum* spp. Este bioestimulante pudo haber inducido una respuesta fisiológica en las plantas, provocando una leve mayor síntesis de flavonoides como mecanismo de defensa frente al estrés salino. (Mohammed et al., 2023) respalda esta hipótesis, al demostrar que la aplicación de un extracto acuoso de *Sargassum polycystum* en plantas de *Vicia faba* y *Helianthus annuus*, mediante una solución en proporción 1:3 (v/v) con agua, resultó en un incremento del 28% y 18% en el contenido de flavonoides en los brotes de *Vicia* y *Helianthus*, respectivamente.

De manera similar, (Rosas-Medina et al., 2020) observaron que, bajo una concentración salina de 120 mM de NaCl, se produjo un leve aumento en los flavonoides (1.16%) en comparación con el control, lo que sugiere que el estrés salino moderado puede estimular

ligeramente la acumulación de estos compuestos, en sintonía con lo observado en el presente estudio.

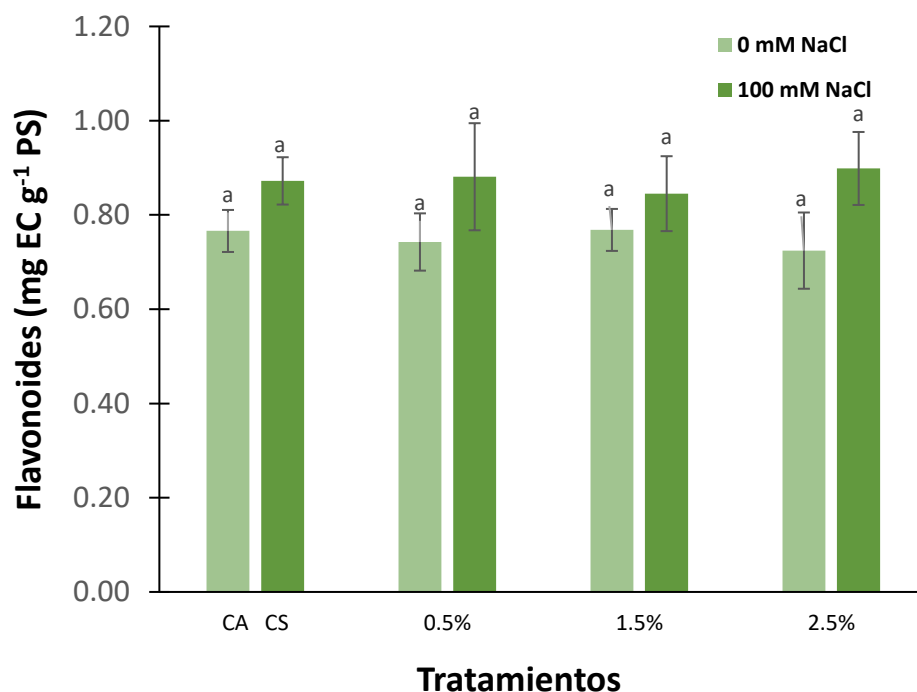


Figura 15. Contenido de flavonoides en frutos de chile jalapeño. Medias con letra común no son significativamente diferentes según LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

Vitamina C

Los resultados obtenidos en la determinación de vitamina C indicaron que, en los tratamientos donde no se aplicó cloruro de sodio, no se presentaron diferencias significativas en los niveles de esta vitamina, lo que sugiere que la aplicación del fermento, en ausencia de estrés salino, no afecta su concentración de manera considerable.

Sin embargo, en los tratamientos que sí fueron sometidos a condiciones de estrés salino mediante la adición de cloruro de sodio (NaCl), se evidenció una tendencia a la disminución del contenido de vitamina C conforme se incrementaba la concentración del fermento. En este caso, las aplicaciones de fermento al 0.5%, 1.5% y 2.5% provocaron reducciones del 1.6%, 3.6% y 4.7%, respectivamente, en comparación con el control salino.

Los resultados obtenidos podrían estar vinculados al efecto que ejerce el estrés salino sobre la estabilidad o la biosíntesis de la vitamina C, tal como lo sugieren (Ratnakar & Rai, 2013).

No obstante, estos hallazgos contrastan con los reportados por (Sariñana-Aldaco et al., 2022b), quienes aplicaron extractos hidroalcohólicos de *Sargassum* spp. y una concentración de 100 mM de NaCl en un cultivar de tomate y observaron un aumento significativo en el contenido de vitamina C. Estos resultados evidencian que, en ciertas condiciones y especies, el estrés salino moderado combinado con bioestimulantes derivados de algas puede potenciar la capacidad antioxidante de las plantas.

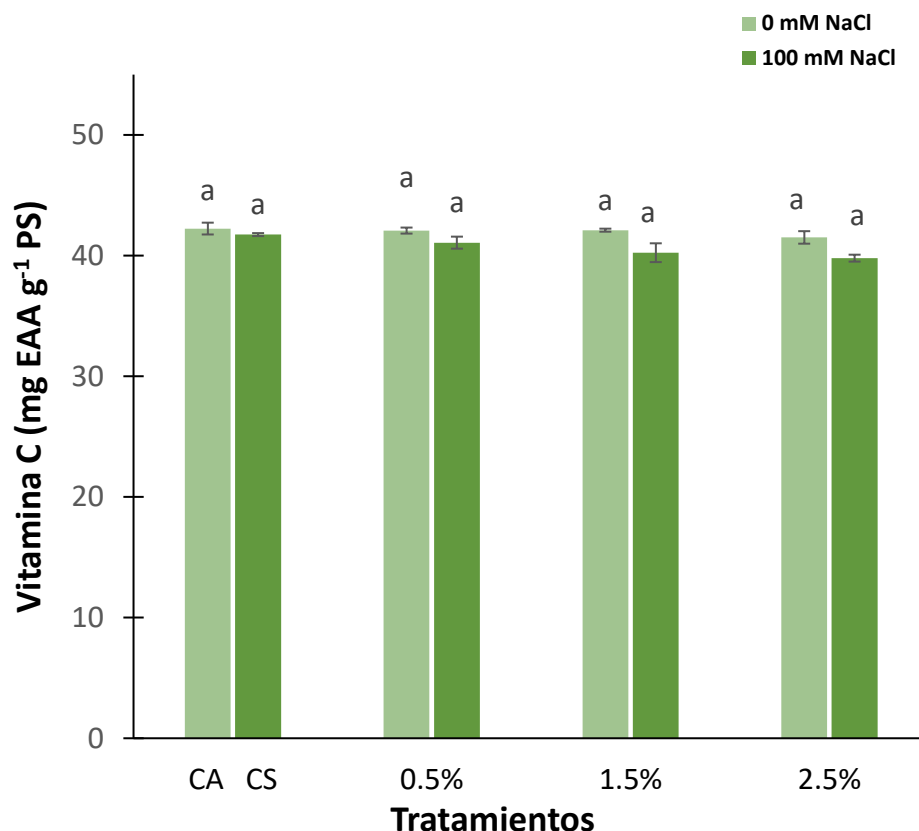


Figura 16. Vitamina C en frutos de chile jalapeño. Medias con letra común no son significativamente diferentes según LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

Carotenoides

En los tratamientos donde no se aplicó estrés salino, los niveles de carotenoides no mostraron variaciones significativas. Por otro lado, los tratamientos sometidos a estrés salino revelaron un comportamiento distinto. La aplicación del fermento a la concentración de 1.5% y 2.5% mostraron incrementos moderados, con aumentos del 21.4% y 10.7%, respectivamente, en comparación con el control salino.

Los resultados obtenidos sugieren que tanto las condiciones salinas como otros factores ambientales pueden influir en la acumulación de carotenoides, los cuales actúan como parte del sistema antioxidante de defensa en las plantas (Havaux, 2013). En este sentido, (Leiva-Ampuero et al., 2020) señalan que en *Solanum lycopersicum* L., los niveles más altos de carotenoides se registraron en frutos de plantas expuestas a concentraciones de 120 y 160 mM de NaCl, lo que respalda que el estrés salino, dentro de ciertos rangos, puede estimular la síntesis de estos compuestos como respuesta adaptativa.

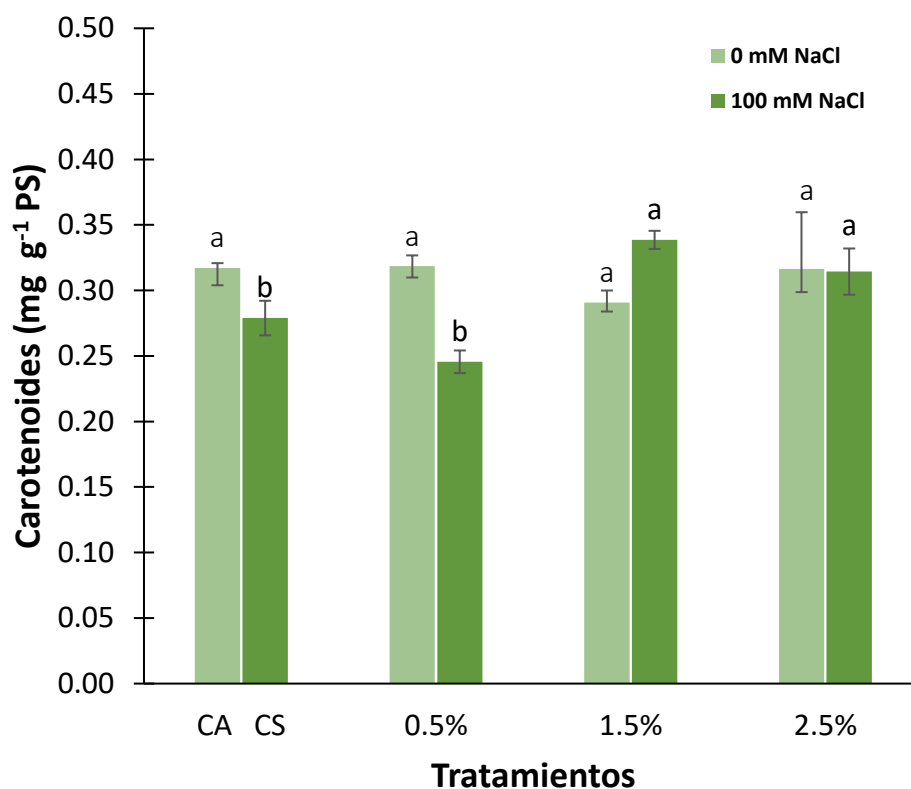


Figura 17. Carotenoides en frutos de chile jalapeño. Medias con letra común no son significativamente diferentes según LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

V. CONCLUSION

El fermento a partir de *Sargassum* spp. ayudó a mitigar los efectos ocasionados por el estrés salino en las plantas de chile jalapeño.

La aplicación del fermento a partir de *Sargassum* spp. modifica el sistema de defensa de las plantas de chile jalapeño induciendo compuestos antioxidantes.

La aplicación del fermento por su origen natural y microbiano representa una alternativa sustentable para mitigar los efectos ambientales negativos.

VI. LITERATURA CITADA

- Ali, O., Ramsubhag, A., & Jayaraman, J. (2021). Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. In *Plants* (Vol. 10, Issue 3, pp. 1–27). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/plants10030531>
- Apaza, & Sotomarin. (2024). *Formulación y elaboración de un medio de cultivo en polvo a base de quinoa (Chenopodium quinoa wild) para el crecimiento bacteriano de una cepa comercial de Lactobacillus reuteri induciendo la fermentación en medio líquido.*
- Blanco J. Araujo, & Rojas. (2016). *View of Microanálisis De Una Cepa De Aspergillus niger Biocatalizadora De Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos HPA.*
- Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. In *Agronomy* (Vol. 9, Issue 6). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060306>.
- Cabezas Gutiérrez, A., Camus Araya, F., Condori, W. E., Andrés González Vallejos, F., & Mazuela Águila, P. (2023). *El silicio (Si) y su efecto mitigador del estrés salino en cultivos hortícolas Silicon (Si) and its mitigating effect on salt stress in horticultural crops.*
- Cairns, T. C., Nai, C., & Meyer, V. (2018). How a fungus shapes biotechnology: 100 years of aspergillus niger research. In *Fungal Biology and Biotechnology* (Vol. 5, Issue 1, pp. 1–14). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s40694-018-0054-5>.
- Carreira-Casais, A., Otero, P., Garcia-Perez, P., Garcia-Oliveira, P., Pereira, A. G., Carpena, M., Soria-Lopez, A., Simal-Gandara, J., & Prieto, M. A. (2021). Benefits and drawbacks of ultrasound-assisted extraction for the recovery of bioactive compounds from marine algae. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17). <https://doi.org/10.3390/ijerph18179153>.
- Catarino, M. D., Silva-Reis, R., Chouh, A., Silva, S., Braga, S. S., Silva, A. M. S., & Cardoso, S. M. (2023). Applications of Antioxidant Secondary Metabolites of *Sargassum* spp. In *Marine Drugs* (Vol. 21, Issue 3). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/md21030172>.

- Ceniceros Jared. (2022). *Rendimiento, Calidad e Inocuidad de Chile Jalapeño (Capsicum annuum) con Fertilización Orgánica*.
- Charles-Rodríguez, A. V., Rivera-Solís, L. L., Martins, J. T., Genisheva, Z., Robledo-Olivo, A., González-Morales, S., López-Guarín, G., Martínez-Vázquez, D. G., Vicente, A. A., & Flores-López, M. L. (2020). Edible films based on black chia (*Salvia hispanica* L.) seed mucilage containing rhus microphylla fruit phenolic extract. *Coatings*, *10*(4). <https://doi.org/10.3390/coatings10040326>
- Chávez, V., Uribe-Martínez, A., Cuevas, E., Rodríguez-Martínez, R. E., van Tussenbroek, B. I., Francisco, V., Estévez, M., Celis, L. B., Monroy-Velázquez, L. V., Leal-Bautista, R., Álvarez-Filip, L., García-Sánchez, M., Masia, L., & Silva, R. (2020). Massive influx of pelagic sargassum spp. On the coasts of the mexican caribbean 2014–2020: Challenges and opportunities. *Water (Switzerland)*, *12*(10), 1–24. <https://doi.org/10.3390/w12102908>.
- Coronado M;, Vega-León;, Rey Gutiérrez T;, Vázquez M;, & Radilla C. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana Antioxidants: present perspective for the human health. In *Rev Chil Nutr* (Vol. 42).
- Cramer, G. R., Urano, K., Delrot, S., Pezzotti, M., & Shinozaki, K. (2011). Effects of abiotic stress on plants: A systems biology perspective. In *BMC Plant Biology* (Vol. 11). <https://doi.org/10.1186/1471-2229-11-163>.
- Cruz, & Pérez et al. (2018). *MACRO TUNNELS COVERINGS AND THEIR EFFECT ON THE NUTRACEUTICAL PROPERTIES OF "CHILE DE AGUA"*.
- Díaz, & Prado et al. (2024). *Sargassum spp. de arribazón: caracterización y potencial de uso agrícola*.
- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. In *Scientia Horticulturae* (Vol. 196, pp. 3–14). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>.
- Espinosa, & Hernández. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas, <https://orcid.org/0000-0001-6207-445X>. In *Artículo de revisión Biotecnología Vegetal* (Vol. 20, Issue 4).

- Espinosa, & Hernández. (2021). *Potencial de las macroalgas marinas como bioestimulantes en la producción agrícola de Cuba.*
- Florez-Jalixto, M., Roldán-Acero, D., Omote-Sibina, J. R., & Molleda-Ordoñez, A. (2021). Biofertilizers and biostimulants for agricultural and aquaculture use: Bioprocesses applied to organic by-products of the fishing industry. In *Scientia Agropecuaria* (Vol. 12, Issue 4, pp. 635–651). Universidad Nacional de Trujillo. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.067>.
- García Vázquez David. (2022). *PRODUCCIÓN DE CHILE (CAPSICUM ANNUM) COMO RESPUESTA A DOS TIPOS DE PODA.*
- García-Rosas, M., Pio-Loeza, R., Vargas-Magaña, J., Salas-Castillo, J. M., Lastras-Del Rivero, A., & Corbala-Bermejo, J. A. (2022). Cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) en tubos de recirculación acuapónica. *Revista Iberoamericana de Ciencias, ISSN 2324-2501*. www.reibci.orgCultivodechilejalapeño
- González Antonio. (2023). *AMINOÁCIDOS EN RENDIMIENTO Y CALIDAD DE AJÍ JALAPEÑO (Capsicum annuum L. var. annuum) cv. EVERMAN, BAJO CONDICIONES DE LA MOLINA.*
- González Jorge. (2022). *EL USO DE ALGAS MARINAS COMO BIOESTIMULANTES THE USE OF SEAWEED EXTRACTS AS BIOSTIMULANTS Trabajo de Fin de Grado.*
- Grimaldo, & Genhua et al. (2017). *EFFECTO NEGATIVO DEL RIEGO SALINO EN COMPONENTES DEL RENDIMIENTO Y FITOQUÍMICOS DE CHILE (Capsicum annuum) INOCULADO CON HONGOS MICORRÍMICOS ARBUSCULARES.*
- Gutiérrez, O., Ana, M., Flores, V., César, V., & Santamaría, Y. (2022). *Alimentación. Capítulo 1 ¿Cómo afecta el procesamiento de alimentos a los antioxidantes?*
- Halpern, M., Bar-Tal, A., Ofek, M., Minz, D., Muller, T., & Yermiyahu, U. (2015). The Use of Biostimulants for Enhancing Nutrient Uptake. *Advances in Agronomy, 130*, 141–174. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2014.10.001>.
- Haro, & Valarezo. (2022). *EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE DOS TIPOS DE ABONOS ORGÁNICOS EN EL CULTIVO DE AJÍ JALAPEÑO (Capsicum annuum), RECINTO PUEMBO, CANTON PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI.*

- Havaux, M. (2013). Carotenoid oxidation products as stress signals in plants. In *Plant Journal* (Vol. 79, Issue 4, pp. 597–606). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/tpj.12386>.
- Helen Veobides, A., Guridi Izquierdo, F., & Vázquez Padron, V. (2018). LAS SUSTANCIAS HÚMICAS COMO BIOESTIMULANTES DE PLANTAS BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS AMBIENTAL. *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas*. <http://ediciones.inca.edu.cu>.
- Hernández Itzel. (2021). *Manejo postcosecha y transformación de chile de agua (Capsicum annum L.) en un grupo de productores de Ayoquezco de Aldama, Zimatlán, Oaxaca mediante la implementación de prácticas solidarias*.
- Hidalgo Ricardo. (2020). “Evaluación del rendimiento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus L.*) ante la aplicación de bioestimulantes a base de algas marinas en la zona de Simón Bolívar provincia del Guayas”.
- Juarez Fernando. (2015). *EVALUACIÓN DE NUEVE CULTIVARES DE CHILE JALAPEÑO EN LA COMUNIDAD DE SAN LUIS AJAJALPAN, TECALI, PUEBLA*.
- Juárez, & Hernández. (2001). PROPUESTA PARA LA FORMULACIÓN DE SOLUCIONES NUTRITIVAS EN ESTUDIOS DE NUTRICIÓN VEGETAL. *Interciencia*, 31(4), 246–253. Consultado: 18-Mayo-2025. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037818442006000400003&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- Khan, Z., Gul, H., Rauf, M., Arif, M., Hamayun, M., Ud-Din, A., Sajid, Z. A., Khilji, S. A., Rehman, A., Tabassum, A., Parveen, Z., & Lee, I. J. (2022). Sargassum wightii Aqueous Extract Improved Salt Stress Tolerance in *Abelmoschus esculentus* by Mediating Metabolic and Ionic Rebalance. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.853272>
- Lara Herrera Alfredo. (1999). *MANEJO DE LA SOLUCION NUTRITIVA EN LA PRODUCCION DE TOMATE EN HIDROPONIA Nutrient Solution Management in the Hydroponic Production of Tomato*.

- Lee, M. K., Ryu, H., Lee, J. Y., Jeong, H. H., Baek, J., Van, J. Y., Kim, M. J., Jung, W. K., & Lee, B. (2022). Potential Beneficial Effects of Sargassum spp. in Skin Aging. In *Marine Drugs* (Vol. 20, Issue 8). MDPI. <https://doi.org/10.3390/md20080540>
- Leiva-Ampuero, A., Agurto, M., Matus, J. T., Hoppe, G., Huidobro, C., Inostroza-Blancheteau, C., Reyes-Díaz, M., Stange, C., Canessa, P., & Vega, A. (2020). Salinity impairs photosynthetic capacity and enhances carotenoid-related gene expression and biosynthesis in tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. Micro-Tom). *PeerJ*, 8. <https://doi.org/10.7717/peerj.9742>.
- León E.; Janampa C.; Cáceres C.; Giu C.; Ruiz P.; Chalco M.; Casas A.; & Malnati M. (2021). Efecto de recubrimientos comestibles en la calidad del ají jalapeño (*Capsicum annuum*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 22, núm. 2, 2021.
- León, & Núñez. (2017). *Géneros de algas marinas tropicales de México: II. Algas pardas*.
- Lichtenthaler, H., & Bushman, C. (2001). Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, F4.3.1(1).
- Llauradó Maury, G., Méndez Rodríguez, D., Hendrix, S., Escalona Arranz, J. C., Fung Boix, Y., Pacheco, A. O., García Díaz, J., Morris Quevedo, H. J., Ferrer Dubois, A., Isaac Aleman, E., Beenaerts, N., Méndez Santos, I. E., Orberá Ratón, T., Cos, P., & Cuypers, A. (2020). Antioxidants in plants: A valorization potential emphasizing the need for the conservation of plant biodiversity in cuba. In *Antioxidants* (Vol. 9, Issue 11, pp. 1–39). MDPI. <https://doi.org/10.3390/antiox9111048>
- López Miranda, J. L., Celis, L. B., Estévez, M., Chávez, V., van Tussenbroek, B. I., Uribe-Martínez, A., Cuevas, E., Rosillo Pantoja, I., Masia, L., Cauich-Kantun, C., & Silva, R. (2021). Commercial Potential of Pelagic Sargassum spp. in Mexico. In *Frontiers in Marine Science* (Vol. 8). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.768470>.
- Mariani, L., & Ferrante, A. (2017). Agronomic management for enhancing plant tolerance to abiotic stresses—drought, salinity, hypoxia, and lodging. In

- Horticulturae* (Vol. 3, Issue 4). MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3040052>
- Marin Cortez, M. P., Robledo Olivo, A., Charles Rodríguez, A. V, González Morales, S., & Camposeco Montejo, N. (2019). *Evaluación del crecimiento de Aspergillus niger en un medio de cultivo líquido*.
- Medjdoub Ratiba. (2020). *LA ALGAS MARINAS Y LA AGRICULTURA-I*. Consultado: 13- Mayo-2025. www.adiego.com-www.catsaigner.com
- Mendoza Liliana. (2013). *Propiedades fisicoquímicas y antioxidantes del chile jalapeño (Capsicum annuum var. annuum) fresco y seco*.
- Mendoza-González, Á. C., Mateo-Cid, L. E., Del Rosario Ortega-Murillo, M., Zurita-Valencia, L., Sánchez-Heredia, J. D., & Hernández-Casas, C. M. (2020). New records and updated list of brown algae (Phaeophyceae) from the coast of Michoacán, Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 55(3), 202–216. <https://doi.org/10.22370/rbmo.2020.55.3.2583>.
- Mendoza-Sánchez, L. G., Mendoza-López, M. R., García-Barradas, O., Azuara-Nieto, E., Pascual-Pineda, L. A., & Jiménez-Fernández, M. (2015). Propiedades fisicoquímicas y antioxidantes del Chile jalapeño (*Capsicum annuum* var. *Annuum*) durante almacenamiento. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 21(3), 229–241. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2015.06.010>.
- Millán-Chiu, B. E., Alarcón Flores, E. A., Ortiz-Olan, E., Fernández, F., & Loske, A. M. (2023). Extracción de quitina de *Aspergillus niger* asistida por ondas de choque: caracterización fisicoquímica y eléctrica. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias y Nanotecnología*, 16(31), 1e–19e. <https://doi.org/10.22201/ceiach.24485691e.2023.31.69796>.
- Mohammed, S., El-Sheekh, M. M., Hamed Aly, S., Al-Harbi, M., Elkelish, A., & Nagah, A. (2023). Inductive role of the brown alga *Sargassum polycystum* on growth and biosynthesis of imperative metabolites and antioxidants of two crop plants. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1136325>
- Ordoñez-Gómez, E. S., Reátegui-Díaz, D., & Villanueva-Tiburcio, J. E. (2018). Total polyphenols and antioxidant capacity of peel and leaves in twelve citrus. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 123–131. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.13>.

- Orosco, & Núñez et al. (2018). *TOLERANCIA A SALINIDAD EN PLANTAS CULTIVADAS_ UNA VISIÓN AGRONÓMICA. - EBSCO.*
- Ortega Quintana, F. A., Álvarez, H., & Botero Castro, H. A. (2017). Enfrentando el modelado de bioprocesos: una revisión de las metodologías de modelado. *Revista ION*, 30(1), 73–90. <https://doi.org/10.18273/revion.v30n1-2017006>.
- Pacheco Dallan. (2022). *BIOESTIMULANTE DE CRECIMIENTO VEGETAL EN CULTIVO DE CHILE SERRANO EN CONDICIONES PROTEGIDAS.*
- Pasković, I., Popović, L., Pongrac, P., Polić Pasković, M., Kos, T., Jovanov, P., & Franić, M. (2024). Protein Hydrolysates—Production, Effects on Plant Metabolism, and Use in Agriculture. In *Horticulturae* (Vol. 10, Issue 10). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/horticulturae10101041>.
- Patricio, Balseca, Rivadeneira, & Larenas. (2015). CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y DE CONCENTRACIÓN DE CAPSAICINA EN CINCO ESPECIES NATIVAS DEL GÉNERO *Capsicum* CULTIVADAS EN ECUADOR. *LA GRANJA: REVISTA DE CIENCIAS DE LA VIDA*, ISSN: 1390-3799. <https://doi.org/10.17163/lgr.n22.2015.02>.
- Pérez Jara, & Saura Fulgencio. (2007). *METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN FRUTAS Y HORTALIZAS.*
- Pérez-Madruga, Y., López-Padrón, I., & Reyes-Guerrero, Y. (2020). Las algas como alternativa natural para la producción de diferentes cultivos. In *Cultivos Tropicales* (Vol. 41, Issue 2). Consultado: 10-Mayo-2025. <http://ediciones.inca.edu.cu>
- Porcel, R., Mulet, J. M., & García, I. (2023). *Revista de la Sociedad Española de Biología de Plantas-SEBP REVISIÓN Bioestimulantes: entre la ciencia, la legislación y el mercado MUJER Y CIENCIA Inspiring girls, inspiring science.*
- Povero, G., Mejia, J. F., Di Tommaso, D., Piaggese, A., & Warrior, P. (2016). A systematic approach to discover and characterize natural plant biostimulants. *Frontiers in Plant Science*, 7(APR2016). <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00435>
- Pratt, & Ortega. (2019). *Agricultura protegida en México Elaboración de la metodología para el primer bono verde agrícola certificado.*

- Pungin, A., Lartseva, L., Loskutnikova, V., Shakhov, V., Popova, E., Skrypnik, L., & Krol, O. (2023). Effect of Salinity Stress on Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Halophytes *Spergularia marina* (L.) Griseb. and *Glaux maritima* L. Cultured In Vitro. *Plants*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/plants12091905>.
- Ramírez, & Camacho. (2014). *LA PROHEXADIONA-Ca PROVOCA CAMBIOS EN EL CRECIMIENTO VEGETATIVO, GIBERELINAS, RENDIMIENTO Y LUTEOLINA EN CHILE JALAPEÑO*.
- Ramírez-Ibarra, J. A., Troyo-Dieguez, E., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., Gallegos-Robles, M. Á., Vázquez-Vázquez, C., Ríos-Plaza, J. L., & García-Hernández, J. L. (2016). Diagnóstico de nutrimento compuesto e interacciones nutrimentales en chile Jalapeño (*Capsicum annum* L.) en suelos semiáridos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(11), 233. Consultado: 11-Mayo-2025. <https://doi.org/10.19136/era.a4n11.1047>
- Ratnakar, A., & Rai, A. (2013). Influence of NaCl Salinity on β -carotene, Thiamine, Riboflavin and Ascorbic Acid Contents in the Leaves of *Atriplex hortensis* L. var. Pusa Bathua No. 1. In *Original Text JOURNAL OF STRESS PHYSIOLOGY & BIOCHEMISTRY* (Vol. 9, Issue 4).
- Reyes, & Rivero. (2020). *Aplicación de quitosano incrementa la emergencia, crecimiento y rendimiento del cutivo de tomate (Solanum lycopersicum L.) en condiciones de invernadero*. <http://biotecnia.unison.mx>
- Rosas-Medina, I., Colmenero-Robles, A., Naranjo-Jiménez, N., Antonio Ávila-R, J., & Almaraz-Abarca, N. (2020). *LA SALINIDAD INCREMENTA EL CONTENIDO DE FLAVONOIDES, DE ANTOCIANINAS Y EL POTENCIAL HIPOGLUCEMIANTE DE TOMATILLO (Physalis ixocarpa)* Salinity increases the contents of flavonoids, anthocyanins and the hypoglycemic potential of tomatillo (*Physalis ixocarpa*).
- Rudenko, N. N., Vetoshkina, D. V., Merenkova, T. V., & Borisova-Mubarakshina, M. M. (2023). *Antioxidants of Non-Enzymatic Nature: Their Function in Higher Plant Cells and the Ways of Boosting Their Biosynthesis*. <https://doi.org/10.20944/preprints202310.2051.v1>.

- Sade, N., Del Mar Rubio-Wilhelmi, M., Umnajkitikorn, K., & Blumwald, E. (2018). Stress-induced senescence and plant tolerance to abiotic stress. In *Journal of Experimental Botany* (Vol. 69, Issue 4, pp. 845–853). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx235>.
- Sáez, & Floréz. (2002). *Caracterización de una Cepa Nativa de Aspergillus niger y Evaluación de la Producción de Ácido Cítrico*.
- Sánchez Toledano, B. I. ;, Camarena Gómez, D. M. J. ;, López Santiago, M. A. ;, & Cuevas Reyes, V. (2023). Consumer Preferences of Jalapeño Pepper in the Mexican Market. In *Horticulturae* (Vol. 9, Issue 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9060684>.
- Santander, C., Vidal, G., Ruiz, A., Vidal, C., & Cornejo, P. (2022). Salinity Eustress Increases the Biosynthesis and Accumulation of Phenolic Compounds That Improve the Functional and Antioxidant Quality of Red Lettuce. *Agronomy*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/agronomy12030598>.
- Sariñana-Aldaco, O., Benavides-Mendoza, A., Juárez-Maldonado, A., Robledo-Olivo, A., Rodríguez-Jasso, R., Preciado-Rangel, P., & González-Morales, S. (2021). Efecto de extractos de *Sargassum* spp. en el crecimiento y antioxidantes de plántulas de tomate. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2): e2814(2). <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2814>.
- Sariñana-Aldaco, O., Benavides-Mendoza, A., Robledo-Olivo, A., & González-Morales, S. (2022). The Biostimulant Effect of Hydroalcoholic Extracts of *Sargassum* spp. in Tomato Seedlings under Salt Stress. *Plants*, 11(22). <https://doi.org/10.3390/plants11223180>
- Sariñana-Aldaco, O., Rivera-Solís, L. L., Benavides-Mendoza, A., Robledo-Olivo, A., Rodríguez-Jasso, R. M., & González-Morales, S. (2025). Using Brown Algae in the Plant–Soil System: A Sustainable Approach to Improving the Yield and Quality of Agricultural Crops. In *Horticulturae* (Vol. 11, Issue 1). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/horticulturae11010094>
- Sariñana-Navarrete, M. de los Á., Morelos-Moreno, Á., Sánchez, E., Cadenas-Pliego, G., Benavides-Mendoza, A., & Preciado-Rangel, P. (2023). Selenium

- Nanoparticles Improve Quality, Bioactive Compounds and Enzymatic Activity in Jalapeño Pepper Fruits. *Agronomy*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/agronomy13030652>
- SIAP. (2025). *Servicio de Información Agroalimentaria y pesquera. Avance de siembras y cosechas. Consultado: 18 de Mayo de 2025.* https://nube.agricultura.gob.mx/avance_agricola/.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). 52 POLYPHENOLS AND FLAVONOIDS [14] [14] *Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent.*
- SIOVM. Consultado: 18 de mayo. (2025). *Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados. Capsicum annum. INFORMACIÓN TAXONÓMICA.* http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/21864_sg7.pdf
- Steiner, A. A. (1961). *A UNIVERSAL METHOD FOR PREPARING NUTRIENT SOLUTIONS OF A CERTAIN DESIRED COMPOSITION.*
- Terry Alfonso, E., Reyes Guerrero, Y., Ruiz Padrón, J., & Carrillo Sosa, Y. (2024). *Las algas y sus usos en la agricultura Algae and their uses in agriculture.* <https://cuid.com/2050/v45n3e07>.
- Velázquez, & Benavente. (2016). *Producción de pigmentos por Monascus spp. en medio sólido empleando residuos agroindustriales.*
- Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 7). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>.
- Zaldivar, V. G., Victoriano, G. L., Pérez, C. J., González, F. B., Martínez, G. M., Stampa, M. L., Zacatenco, C., Gustavo Madero, D. A., & de México, C. (2023). *Obtención y evaluación de propiedades antioxidantes de extractos de orégano (Lippia graveolens), eucalipto (Eucalyptus cinerea) y chile jalapeño (Capsicum annum cv.).* (Vol. 8).
- Zhishen, J. T. M. and W. J. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64(4), 555–559. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(98)00102-2).