



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS**

MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL EN AGRICULTURA PROTEGIDA

**PRODUCCIÓN DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)
CON APLICACIONES DE ÁCIDO SALICÍLICO Y ALGAS
MARINAS BAJO MALLA SOMBRA**

**TESIS
QUE PRESENTA**

ING. EDGAR NAVA ALEJO

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN AGRICULTURA PROTEGIDA

**DIRECTOR DE TESIS
DR. PATRICIO APÁEZ BARRIOS**

**APATZINGÁN, MICHOACÁN, MÉXICO
NOVIEMBRE DE 2023**



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL EN AGRICULTURA PROTEGIDA

PRODUCCIÓN DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) CON
APLICACIONES DE ÁCIDO SALICÍLICO Y ALGAS MARINAS BAJO MALLA
SOMBRA

TESIS QUE PRESENTA
ING. EDGAR NAVA ALEJO

ELABORADO BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE
ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE:

MAESTRO EN AGRICULTURA PROTEGIDA

COMITÉ PARTICULAR

Director:

Dr. Patricio Apérez Barrios

Codirector:

Dr. Noé Armando Ávila Ramírez

Vocal 1:

Dr. José Luis Escamilla García

Vocal 2:

Dr. Abimael López López

Vocal 3:

Dr. Maricela Apérez Barrios

AGRADECIMIENTOS

A Dios, doy gracias por haberme dado la vida y la salud en todos estos años de mi vida, y por haberme acompañado, bendecido y guiado a lo largo de este camino.

Al **Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT)**, por la beca brindada durante mis estudios de maestría.

A la **Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo**, por brindarme la oportunidad de continuar con mi preparación académica.

Al **Dr. Patricio Apéez Barrios** por su paciencia e interminable ayuda en la presente investigación, así como su perseverancia para la gestión del proyecto y dirección de la presente investigación.

Al **Dr. Noé Armando Ávila Ramírez**, por su enseñanza y conocimientos compartidos dentro y fuera de las aulas.

Al **Dr. José Luis Escamilla García**, por sus consejos, enseñanza y conocimientos compartidos dentro de las aulas.

Al **Abimael López López**, por su sugerencias y opiniones a mejorar la estructura de la investigación.

A la **Dra. Maricela Apéez Barrios**, por compartir sus conocimientos dentro y fuera de las aulas, sus provechosos consejos brindados y la confianza que siempre ha mostrado sin condición alguna.

A los profesores el **Dr. José Francisco Díaz Nájera**, **Dr. Juan Carlos Álvarez Hernández** y la **Dra. Yurixhi Atenea Raya Montaña**, por sus valiosos y eficaces sugerencias relacionados a mejorar la estructura de la presente investigación.

A mis compañeros de la Maestría:

A mi gran amigo y finado **Efraín Zamudio Arias**, mis más sinceros agradecimientos por haberme ayudado en todo momento sin condición alguna, Dios cuide tu camino.

A **Katia Denisse Rosas Ortega** por los buenos y apreciables momentos compartidos dentro y fuera de las aulas.

A **Juan Martín Olivares Rodríguez** por su amistad y apoyo brindado en las actividades agronómicas en la etapa de campo.

DEDICATORIAS

A mis Padres **Reyes Nava Visca y Austreberta Alejo Gasparillo**, por darme la vida y brindarme su apoyo y amor incondicional en cada momento, también por la educación e inculcarme los valores morales que hoy poseo. Su confianza y gran esfuerzo, es lo único que me ayudó a superarme día a día, son parte de lo que he logrado hasta ahora académica y personalmente.

A mi esposa **Yareli Godinillo Valle**, por su gran apoyo incondicional y por ser esa persona que complementa mi vida.

A mi hermana **Gabriela** y hermanos **Fredy, Ulises y Reyes** por todo el apoyo moral, cariño, y consejos que me han permitido superarme personalmente.

A un gran amigo el **Dr. Magdaleno Damaso Solís** por sus múltiples consejos y la enseñanza de ser mejor persona en todos los ámbitos.

A mis **cuñadas, tíos, primos y sobrinos**, por sus consejos y apoyo incondicional; por formar parte de esta gran familia.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE CUADROS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1
Objetivos.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Origen y distribución.....	4
Importancia económica.....	4
Requerimientos edafoclimáticos.....	6
Agricultura protegida.....	8
Importancia.....	8
Objetivos de la producción en ambientes protegidos.....	8
Tipos de cobertura más populares.....	9
Producción de jitomate en altas temperatura.....	11
Generalidades.....	11
Respuesta del jitomate a temperaturas altas.....	11
Bioestimulación en las plantas.....	13
Ácido salicílico en la agricultura.....	13
Función de ácido salicílico en plantas.....	14
Síntesis del AS por las plantas.....	15
Resultados de la aplicación de ácido salicílico en cultivo.....	17
Las algas marinas como bioestimulantes vegetales.....	19
Posibles mecanismos de acción a nivel celular.....	19
<i>Ascophyllum nodosum</i> como bioestimulante.....	20
Resultados de <i>Ascophyllum nodosum</i> en cultivos.....	21

<i>Ecklonia máxima</i> como bioestimulante.....	23
Resultados de <i>Ecklonia maxima</i> en cultivos.....	24
<i>Sargasum vulgare</i> como bioestimulante.....	25
Resultados en cultivos <i>Sargasum vulgare</i>	26
MATERIALES Y MÉTODOS	28
Descripción del área de estudio.....	28
Localización del sitio experimental.....	28
Metodología.....	28
Características de la malla sombra.....	28
Elección del material vegetal.....	29
Preparación del terreno.....	29
Preparación de las camas.....	30
Instalación del sistema de riego por goteo.....	30
Colocación del acolchado.....	31
Labores agronómicas.....	31
Transplante.....	31
Riegos y Fertirriego (solución nutritiva).....	31
Tutorado.....	33
Control de malezas.....	33
Polinización.....	33
Control de plagas y enfermedades.....	34
Cosecha.....	35
Tratamientos en estudio y diseño experimental.....	35
Tratamientos.....	35
Aplicación de los tratamientos.....	35
Diseño experimental.....	36
Variables de respuesta.....	37
Análisis estadístico.....	43
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
Variables morfológicas.....	45
Altura de la planta.....	45

Diámetro del tallo.....	47
Número de hojas.....	48
Clorofila de las hojas.....	49
Rendimiento.....	51
Diámetro polar y ecuatorial del fruto.....	51
Número de frutos totales.....	52
Peso promedio de frutos.....	53
Rendimiento de frutos.....	53
Calidad del fruto.....	55
Sólidos solubles.....	55
Licopeno.....	56
Firmeza del fruto.....	57
Materia seca.....	58
Peso total de la planta de jitomate	58
CONCLUSIONES.....	62
LITERATURA CITADA.....	63
ANEXOS.....	81
Anexo 1. Análisis de suelo, agua y fertirriego.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.		Pág.
2.1	Producción mundial de frutos de jitomate.....	4
2.2	Producción nacional.....	5
2.3	Producción estatal.....	5
2.4	Biosíntesis y metabolismo del AS.....	16
2.5	Mecanismos de acción de los extractos de algas a nivel celular, molecular y en las propiedades del suelo.....	20
2.6	<i>Ascophyllum nodosum</i> , una alga con uso potencial para la agricultura.....	21
2.7	<i>Ecklonia maxima</i> , una alga con uso potencial para la agricultura.....	24
2.8	<i>Sargasum vulgare</i> , una alga con uso agrícola.....	26
3.1	Sitio del área de estudio.....	28
3.2	Casa sombra utilizada en el estudio.....	28
3.3	Material vegetal. a, semillas; b, plántula del jitomate en estudio.....	29
3.4	Preparación del suelo.....	29
3.5	Preparación del surco. a, preparación de las camas; b, aplicación de azufre al suelo.....	30
3.6	Sistema de riego. a, recipientes de almacenamiento para el fertirriego; b, sistema de bombeo; c, colocación de cintilla de riego.....	31
3.7	Colocación del acolchado.....	31
3.8	Trasplante de las plántulas de jitomate.....	31
3.9	Labores culturales. a, entutorado de la planta de jitomate; b, camas sin malezas; c, cultivo en la etapa de floración.....	33
3.10	Cosecha del fruto de jitomate.....	35
3.11	Aplicación de tratamientos. a, pesaje del compuesto ácido acetil salicílico; b, preparación de los tratamientos; c, aplicación de los tratamientos.....	36
3.12	Distribución de los tratamientos dentro de la casa	

	sombra.....	37
3.13	Medición de la clorofila de las hojas. a, muestreo de las hojas a registrar; b, hojas maceradas en la solución de acetona al 80 %; c, muestras en el espectrofotómetro.....	38
3.14	Medición de los diámetros de los frutos. a, diámetro ecuatorial; b, diámetro polar.....	39
3.15	Rendimientos de los frutos. a, conteo de los jitomates; b, pesaje de los frutos.....	40
3.16	Medición de los sólidos solubles. a, corte transversal de los frutos; b, goteo de jugo de jitomate al refractómetro; c, registro de resultados en °Brix.....	40
3.17	Medición del licopeno de los frutos. a, corte en rodajas; b, secado; c, maceración de los cortes secos; d, centrifugado de las muestras; e, lecturas de las muestras en un espectrofotómetro.....	41
3.18	Determinación de la firmeza de los frutos de jitomates. a, selección de los frutos a muestrear; b, penetración de los frutos; c, registro de resultados en kg cm ⁻²	42
3.19	Peso seco de la planta de jitomate. a, selección de las plantas a muestrear; b, pesaje en seco por órgano de la planta (hojas y tallo); c, registro de resultados en kg.....	42
4.1	Temperatura máxima, temperatura mínima (media decenal) y evaporación (promedio decenal) durante el ciclo del cultivo de jitomate con aplicaciones de algas marinas y ácido acetilsalicílico.....	44
4.2	Clorofila total de las hojas de jitomate con aplicaciones de algas marinas y ácido acetilsalicílico	50
4.3	Rendimiento de frutos de jitomate con aplicaciones de algas marinas y ácido acetilsalicílico	54
4.4	Sólidos solubles totales (SST) de los frutos de jitomate con aplicaciones de algas marinas y ácido acetilsalicílico.....	55
4.5	Contenido de licopeno en los frutos de jitomate con aplicaciones de algas marinas y ácido acetilsalicílico.....	56

4.6	Firmeza de los frutos de jitomate con aplicaciones de algas marinas y ácido acetilsalicílico.....	58
4.7	Biomasa total de la planta de jitomate con aplicaciones de algas marinas y ácido acetilsalicílico.....	59

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Pág.
2.1	Efecto de los ingredientes activos de <i>Ascophyllum nodosum</i> en las plantas.....	21
3.1	Concentración de aplicación de la Solución nutritiva Steiner en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo de jitomate.....	32
3.2	Fertilizantes utilizados en el experimento.....	33
3.3	Principales plagas presentadas en el cultivo de jitomate.....	34
3.4	Principales enfermedades presentadas en el cultivo de jitomate.....	34
3.5	Aplicaciones de los tratamientos en estudio.....	36
3.6	Absorbancia a diferentes concentraciones de licopeno (patrón).....	41
4.1	Altura de la planta de jitomate durante el ciclo del cultivo en función de la aplicación de algas marinas y ácido acetilsalicílico, bajo malla sombra en Apatzingán, Mich.....	46
4.2	Diámetro del tallo de la planta de jitomate durante el ciclo del cultivo en función de la aplicación de algas marinas y ácido acetilsalicílico, bajo malla sombra en Apatzingán, Mich.....	47
4.3	Número de hojas de la planta de jitomate durante el ciclo del cultivo en función de la aplicación de algas marinas y ácido acetilsalicílico, bajo malla sombra en Apatzingán, Mich.....	49
4.4	Componentes del rendimiento del cultivo de jitomate en función de aplicaciones de algas marinas y ácido acetilsalicílico bajo malla sombra en Apatzingán, Mich.....	52
4.5	Peso seco de las hojas y tallo de la planta de jitomate en función de la aplicación de algas marinas y ácido acetilsalicílico, bajo malla sombra en Apatzingán, Mich.....	59

RESUMEN

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es de las hortalizas de mayor importancia para el consumo humano por su importancia nutricional y como alimento funcional. En este cultivo es necesario buscar alternativas de manejo amigables con el ambiente. Al respecto, las algas marinas y el ácido acetilsalicílico han demostrado mejorar la nutrición de las plantas, promover el crecimiento y conferir resistencia contra factores abióticos y abióticos. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la aplicación de algas marinas y ácido acetilsalicílico en variables morfológicas, de producción y calidad del jitomate bajo malla sombra. El experimento se estableció en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en Apatzingán, Mich. En plantas de jitomate se realizó la aplicación foliar de extractos de *Ascophyllum nodosum* (AN), *Ecklonia maxima* (EM), *Sargassum vulgare* (SV), ácido acetilsalicílico (AAS), solos y en combinación AN+AAS, EM+AAS, SV+AAS y el testigo. Se encontró que las plantas no modificaron variables morfológicas, sólidos solubles, rendimiento de frutos y componentes de rendimiento con los tratamientos suministrados. A pesar de que el contenido de clorofila de las hojas se incrementó en 12 % con SV+AAS y que con EM el número de frutos aumentó en 13.7 %. El contenido de licopeno aumentó en los frutos con las algas marinas y con SV+AAS y los frutos más firmes se registraron con AN. Por lo que la aplicación de algas marinas y ácido acetilsalicílico bajo las condiciones de producción del estudio no mejoraron variables morfológicas y de producción, solo el contenido de licopeno y firmeza con algunos tratamientos.

Palabras clave: bioestimulantes, licopeno, materia seca, rendimiento de fruto, sólidos solubles.

ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most important vegetables for human consumption due to its nutritional importance and as a functional food. In this crop, it is necessary to look for environmentally friendly management alternatives. In this regard, seaweeds and acetylsalicylic acid have been shown to improve plant nutrition, promote growth and confer resistance against abiotic and abiotic factors. The objective of the study was to determine the effect of the application of seaweed and acetylsalicylic acid on morphological, production and quality variables of tomato under shade netting. The experiment was established at the Faculty of Agricultural Sciences of the Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo in Apatzingán, Mich. The foliar application of extracts of *Ascophyllis nodosum* (AN), *Ecklonia maxima* (EM), *Sargassum vulgare* (SV), acetylsalicylic acid (AAS), alone and in combination AN+AAS, EM+AAS, SV+AAS and the control was carried out on tomato plants. It was found that the plants did not modify morphological variables, soluble solids, fruit yield and yield components with the treatments supplied. Although the chlorophyll content of leaves increased by 12 % with SV+AAS and with EM the number of fruits increased by 13.7 %. Lycopene content increased in fruits with seaweed and with SV+AAS and the firmest fruits were recorded with AN. Therefore, the application of seaweed and acetylsalicylic acid under the production conditions of the study did not improve morphological and production variables, only lycopene content and firmness with some treatments.

Key words: biostimulants, lycopene, dry matter, fruit yield, soluble solids.

INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), pertenece a la familia de las solanáceas, es una de las hortalizas más importantes de México y del mundo, tanto por su importancia económica como por ser fuente de vitaminas, minerales y antioxidantes (SADER, 2020), por lo que, se busca promover su consumo y en consecuencia aumentar su producción mediante aumentos en el rendimiento (Vargas-Martínez *et al.*, 2023).

México se encuentra dentro los ocho principales productores a nivel mundial de jitomate, con una participación en 2021 del 2.5 % de la producción mundial de esta hortaliza (FAOSTAT, 2023). El principal estado productor de México en 2022 fue Sinaloa con 637,135 t, que representa el 20 % de la producción nacional, seguido por San Luis Potosí y Michoacán (SIAP, 2023).

En la actualidad, el cambio climático y el aumento de la población representan desafíos muy importantes que involucra a toda la humanidad. En noviembre del 2022 la población mundial alcanzó los 8,000 millones de personas y se estima que en 2050 aumentará un 25 % más (ONU, 2023) con esto también se incrementará la demanda de los alimentos, principalmente de cereales, leguminosas y solanáceas. Con relación al cambio climático, la mitad de la población mundial vive en países altamente vulnerables a los fenómenos climáticos que puedan ocurrir, la ONU reporta un incremento de 1.2 °C de las temperaturas globales y se estima que a finales del siglo aumenten 2.7 °C (ONU, 2023), esto provocará mayores retos y desafíos para el desarrollo agrícola.

En lugares donde se produce jitomate con temperaturas por encima de los 35 °C el cultivo reduce su desarrollo, crecimiento y calidad del fruto, que afecta la rentabilidad del cultivo, también disminuyen los granos de polen, las flores en los racimos se reducen, los tallos se llegan a alargar, dando origen que los racimos salgan altos y los espacios entre racimos sean muy largos. Lo que ocasiona reducción considerable de la productividad (Florido-Bacallao y Álvarez-Gil, 2015).

El jitomate requiere temperaturas entre 23 y 24 °C para su óptimo desarrollo (SAGARPA, 2017), por esta razón, en sitios con temperaturas superiores a las óptimas es importante evaluar alternativas amigables con el ambiente, como son las algas marinas y el ácido acetilsalicílico, para reducir el impacto negativo de las altas temperaturas y también obtener beneficios al cultivo como promotores de crecimiento, absorción y regulación de nutrientes (Mn, Ca, Cu, Fe, P y Zn) y a mitigar el estrés biótico y abiótico que pueden disminuir la productividad del cultivo (Graigie, 2011; Wang *et al.*, 2016).

Estudios realizados sobre la aplicación de extractos de algas marinas a temperaturas de 30 y 32 °C, indican que se favorece la asimilación de nutrientes en las plantas, también se aumenta el crecimiento, el rendimiento y la calidad de las plantas y frutos de jitomate (Sutharsan *et al.*, 2014). Así mismo, el ácido salicílico suministrado a las plantas ha demostrado ser un buen mitigante de estrés principalmente por altas y bajas temperaturas (Khan *et al.*, 2015).

En el valle de Apatzingán, en región la tierra caliente de Michoacán, es un reto producir solanáceas principalmente el jitomate con las temperaturas de hasta 40 °C, lo que provoca una afección considerablemente el desarrollo de los cultivos. Es por ello que el presente trabajo se realizó bajo condiciones climáticas de altas temperaturas, en donde se evaluó la aplicación foliar de algas marinas y ácido acetilsalicílico, como promotores de crecimiento en condiciones de altas temperaturas bajo casa sombra.

Objetivos

Objetivo general

Determinar el efecto de la aplicación foliar de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*, *Ecklonia maxima* y *Sargasum vulgare*) y ácido acetilsalicílico en el crecimiento, producción y calidad del fruto de jitomate bajo condiciones de malla sombra.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la aplicación foliar de algas marinas y ácido acetilsalicílico en variables morfológicas del cultivo de jitomate.
- Conocer el efecto de la aplicación foliar de algas marinas y ácido acetilsalicílico sobre características químicas y físicas de frutos de jitomate.
- Determinar el efecto de diferentes especies de algas marinas en combinación con ácido acetilsalicílico sobre el rendimiento de fruto y componentes del rendimiento en el cultivo de jitomate.

Hipótesis

La aplicación foliar de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*, *Ecklonia maxima* y *Sargasum vulgare*) y ácido acetilsalicílico solos o en combinación, incrementan la producción y la calidad del jitomate bajo malla sombra.

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen y distribución

El jitomate fue domesticado por los pueblos mesoamericanos, por eso en México se goza de una gran variedad tanto de tamaño, colores y sabores. El cultivo tiene gran importancia en México y en el mundo, por ser fuente de vitaminas, minerales y antioxidantes (SADER, 2022).

En México y en muchos de los países, el jitomate se consume en ensaladas y en jugo en fresco; la industria alimenticia actual procesa los jitomates en infinidad de formas como zumos, purés, conservas de jitomate enteros y pelados, en componentes de diversas salsas picantes o dulces, mermeladas, entre otros (SAGARPA, 2017).

Importancia económica

El jitomate es una de las hortalizas de mayor consumo a nivel mundial y nacional; en la actualidad existe mayor demanda de frutos que se producen en invernaderos por el reducido uso de agroquímicos (INFOAGRO, 2022).

A nivel mundial, la producción total durante 2021 (Figura 2.1) fue de 189 millones de t y el rendimiento promedio fue de 60.3 t ha⁻¹; China fue el principal productor con 35.7 % de participación, seguido de India (11.2 %), Turquía (6.9 %), EUA (5.5 %), Italia (3.5 %), Egipto (3.3 %), España (2.5 %), México (2.5 %), Brasil (1.9 %), Nigeria (1.9 %) y el resto del mundo tiene una participación de 25.3 % (FAOSTAT, 2023).

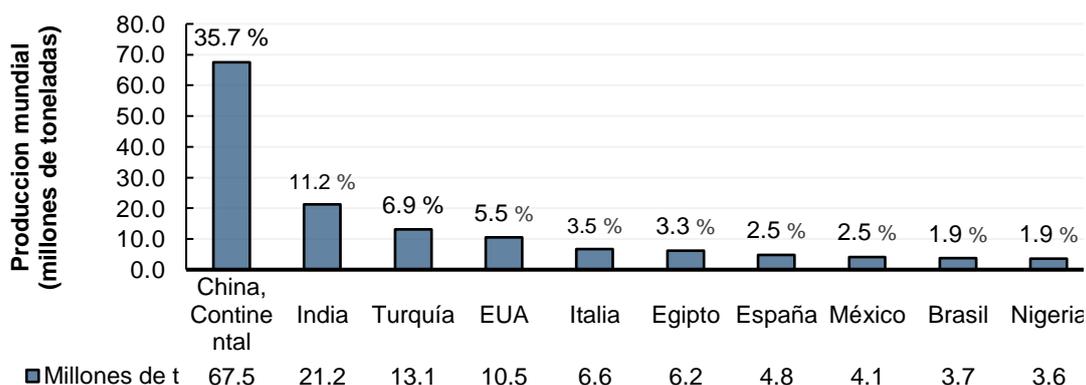


Figura 2.1. Producción mundial de frutos de jitomate (FAOSTAT, 2023).

A nivel nacional, el SIAP (2023) reportó que durante el año 2022 la producción en México fue de 3,185,507.71 t, con rendimientos promedio de 67.31 t ha⁻¹. Sinaloa con 637,135.06 t (20 %) destaca como el principal productor de jitomate, siguiendo por San Luis Potosí con 374,791.85 t (11.8 %), Michoacán (8.6 %), Baja California Sur (5.6 %), Zacatecas con 171,846.6 t (5.4 %) y los otros estados tuvieron una participación nacional de 48.7 % (Figura 2.2).

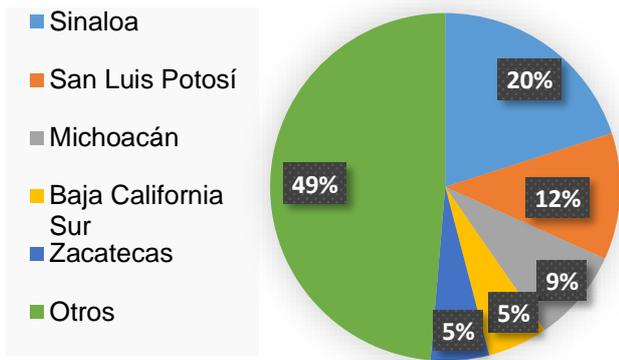


Figura 2.2. Producción nacional (SIAP, 2023).

A nivel estatal, esta hortaliza es una fuente importante de ingresos; durante el año 2022, el SIAP (2023) reportó en Michoacán una producción de 274,883.93 t y un rendimiento promedio de 42.47 t ha⁻¹, registrando como el principal productor al municipio de Tanhuato (50,192 t), seguido de Aguililla (34,770 t), Venustiano Carranza (31,916 t), Yurécuaro (30,295 t) y Tacámbaro (16,840 t) (Figura 2.3).

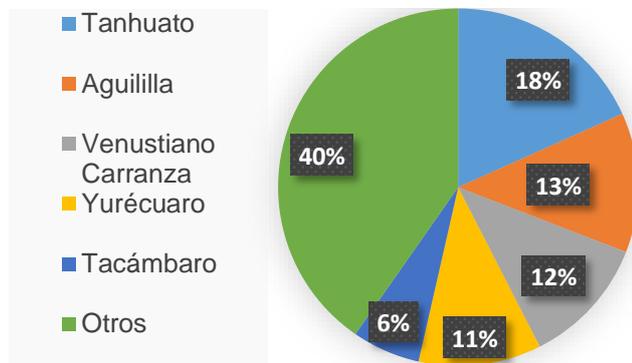


Figura 2.3. Producción estatal (SIAP, 2023).

Desde el punto de vista nutricional, el jitomate aporta pocas calorías. La mayor parte del peso (100 g) es agua (95 g), 4 g de hidratos de carbono y vitaminas B₁, B₂, B₃, A y C; los antioxidantes presentes están relacionados con la prevención de enfermedades (Troxler, 2022).

Compuestos antioxidantes presentes en el jitomate: el contenido de antioxidantes en el tomate puede variar de acuerdo con la ubicación en el fruto. Al-Wandawi *et al.* (1985), reportaron que el pericarpio del jitomate contiene los niveles más altos de antioxidantes en comparación con la pulpa y las semillas.

Algunos ejemplos de estos antioxidantes en el pericarpio son, principalmente, flavonoides (chalcona, naringenina, rutina y quercetina glicósido) que proporcionan una amplia gama de beneficios a la salud, desde combatir el cáncer y reducir el riesgo de enfermedades cardíacas hasta preservar la función cerebral, incluso se han usado para combatir las arrugas (Bovy *et al.*, 2002).

Otros de los más importantes antioxidantes en el pericarpio son los compuestos fenólicos y ácido ascórbico (vitamina C), los primeros son sustancias que llegan a impactar en la prevención del daño oxidativo, relacionado con el inicio de diversas enfermedades y el segundo el ácido ascórbico mejor conocido como vitamina C, que ayudan a dar respuesta inmune al organismo humano, también se ha reportado como favorable el uso de dosis altas de vitamina C en el manejo de pacientes con cáncer en tratamiento con quimioterapia, con diabetes, inclusive de la mejora de respiración en pacientes fumadores (Castillo-Velarde, 2019).

Por otra parte, en frutos de estadio maduro los niveles máximos de carotenoides totales y licopeno se encuentran en los tejidos más externos como el exocarpo y mesocarpo, disminuyendo considerablemente la concentración de estos pigmentos en los tejidos más internos (López-Casado *et al.*, 2003).

Igualmente, los contenidos de vitaminas antioxidantes varían de forma visible en el jitomate; así, la vitamina C es la más abundante (22-48 mg 100 g⁻¹ de fruto fresco), seguida de la vitamina E, principalmente α -tocoferol en semillas, desde 0.1 mg a 3.2 mg 100 g⁻¹ de fruto fresco. Otras vitaminas, como la tiamina (0.07 g), riboflavina (0.04 mg), niacina (0.9 mg), vitamina B6 (0.13 mg), están presentes en 100 g de porción comestible (Steward *et al.*, 2000).

Requerimientos edafoclimáticos

El manejo adecuado de los factores climáticos es fundamental para el buen funcionamiento del cultivo, porque todos están relacionados entre sí.

Temperatura. La óptima para la germinación va de 25 a 30 °C, inferior a este rango la semilla no germina (León y Yépez, 2008). La temperatura influye en

la distribución de los productos de la fotosíntesis (Álvarez, 2018).

Humedad. La humedad relativa óptima se encuentra entre 70 y 80 %, valores elevados favorece el desarrollo de enfermedades aéreas, el agrietamiento y el rajado del fruto; igualmente, las enfermedades se pueden originar por un exceso de humedad edáfica o riego abundante después de un período de estrés hídrico (Álvarez, 2018; León y Yépez, 2008).

Luminosidad. La alta intensidad de la radiación solar puede producir quemaduras o golpe de sol en las partes expuestas de los frutos. Este efecto puede aumentar cuando se produce defoliación o marchitez de las hojas por otras enfermedades (León y Yépez, 2008). Una buena iluminación, se modifica con la densidad de siembra, el sistema de poda, el tutorado y las prácticas culturales que optimizan la recepción de la radiación solar, principalmente en la época lluviosa que es cuando la radiación es más limitada (Álvarez, 2018).

Suelo. La planta de jitomate se adapta a varios tipos de suelos, pero prefiere los suelos profundos, fértiles, equilibrados en nutrientes, que sean ricos en materia orgánica y con permeabilidad. El pH más apropiado va de 6 a 7, pero tolera hasta 8 (León y Yépez, 2008). El nivel máximo de salinidad del suelo para este cultivo es de 2.5 dS m^{-1} (deSiemens por metro). Un dS m^{-1} equivale a aproximadamente 640 ppm de sales. Con un aumento en la salinidad del suelo las raíces extraen con mayor dificultad el agua presente en el suelo. También es sensible al exceso de humedad en el suelo y no tolera suelos con problemas de mal drenaje, por lo que se debe mantener una humedad adecuada durante el ciclo de crecimiento del cultivo (Martínez, 2007).

Fertilización carbónica. La aplicación de dióxido de carbono (CO_2), o fertilización carbónica, es una técnica agronómica utilizada de forma habitual para incrementar la producción y calidad de los cultivos bajo invernadero, también ha sido benéfico para el desarrollo y vigor de las plantas, aunado a un incremento en el rendimiento. La mayoría de los cultivos reaccionan bien cuando se aplican de 310 a 1000 ppm de CO_2 a la atmosfera bajo invernaderos y las concentraciones óptimas caen en un rango de 700 a 1000 ppm (Zamora, 2016).

En el cultivo de jitomate, al inyectar CO₂ a la atmosfera pudiera incrementar la producción entre 20 y 30% acelerando además la floración y fructificación al menos 10 días. Dosis a un rango de 800 a 1000 ppm es recomendado para acelerar las plántulas de tomate (Zamora, 2016).

Agricultura protegida

Importancia

La agricultura protegida es aquella que se realiza bajo métodos de producción que ayudan a ejercer determinado grado de control sobre los diversos factores del ambiente. Esta tecnología permite minimizar las restricciones que las malas condiciones climáticas ocasionan en los cultivos (TecnoAgro, 2022).

La producción bajo agricultura protegida ha crecido aceleradamente en los últimos años a nivel nacional, el SIAP (2023) reportó en el año 2021 un total de 31,648.50 ha⁻¹ establecidas bajo condiciones protegidas, de las cuales, 15,921.8 ha⁻¹ (50.3 %) corresponde a malla sombra, 12,484.2 ha⁻¹ (40.6 %) a invernadero y 2,878.5 (9.10 %) a macro túneles.

En Michoacán la superficie bajo condiciones de agricultura protegida es de 3,245.97 ha, siendo el 81.04 % macro túneles y el 18.96 % corresponde a invernaderos (SIAP, 2023).

Objetivos de la producción en ambientes protegidos

El objetivo de la agricultura protegida es obtener producciones con alto valor agregado (hortalizas, frutas, flores, ornamentales y plantas de vivero) (Bielinski *et al.*, 2018), así como aumentar la productiva de un cultivo.

Bolaños-Benavides *et al.* (2022), mencionan las siguientes ventajas:

Protección contra condiciones climáticas extremas (reducción del riesgo y adaptación al cambio climático); obtención de cosechas permanentes por siembras continuas, durante el año; mejor calidad de la cosecha; reducción de la erosión del suelo; siembra de materiales seleccionados; aumento significativo en rendimiento, dependiendo del manejo; ahorro en costos de

producción; disminución en el ataque de plagas, por barreras físicas como mallas; disminución en la utilización de plaguicidas, por mejor monitoreo y manejo; aprovechamiento más eficiente del área de cultivo y oportunidad de acceso a nuevos mercados, debido al mejoramiento de la inocuidad de los productos.

Tipos de cubiertas más populares

Invernadero: son estructuras herméticamente cerradas con materiales transparentes, con suficiente capacidad de altura y ancho para permitir cultivo de especies de altura diversa, incluso árboles frutales (SENASICA, 2016).

Están contruidos con diversos materiales, cuya altura es mayor de 2 m en la parte útil, con anchos mayores de 6 m y largos variables. Mediante la unión de varios módulos se obtienen grandes dimensiones de superficies cubiertas, conocidas como invernaderos en batería. Por su tamaño, permiten que todas las labores y prácticas que requieren los cultivos se realicen en el interior de las instalaciones. Los invernaderos modernos son acondicionados con mecanismos y equipos necesarios para controlar temperatura, luminosidad, humedad ambiental, ventilación, aireación, aporte de CO₂, riegos y fertilización. Con esto se ha logrado aumentar los rendimientos agrícolas a niveles superiores a los alcanzados a la intemperie mediante cualquiera de los sistemas de producción tradicional de la agricultura mecanizada (Juárez *et al.*, 2011).

Micro túnel: los componentes de un micro túnel son los arcos, la cobertura y la sujeción de cobertura. Para los arcos se deben utilizar materiales flexibles, sin rugosidades o aristas que puedan dañar el polietileno de cobertura como la madera, el metal, el plástico o la combinación de alguno de estos. El polietileno de cobertura debe permitir el mayor ingreso de luz posible (radiación), retener el calor, ser flexible, de fácil manejo, con tratamiento ultravioleta (AV) como el Polietileno Térmico de Larga Duración (LDT) (Miserendino, 2011).

La función de los túneles es minimizar los efectos perjudiciales de las bajas temperaturas, sin recurrir a estructuras costosas. Esta estructura tiene una

altura no mayor a 1 m y ancho menor a 2 m. El micro túnel puede ser continuo o discontinuo, este último generalmente no mayor a 10 m; la gran ventaja de esta cobertura es su bajo costo. Los micro túneles permiten conseguir cosechas de elevados rendimientos, excelente calidad y alta precocidad (Juárez *et al.*, 2011).

Macro túnel: los macro túneles son estructuras económicas muy sencillas, que permite cubrir grandes superficies de cultivo cuando no se requiere controlar en exceso las condiciones interiores del invernadero, permite proteger con plástico y malla. Están diseñados con estructura modular, de acero galvanizado de fácil y rápido ensamblaje, que pueden ser adaptados a posibles modificaciones o ampliaciones posteriores. También son estructuras simples y temporales (en algunos casos). Permiten la apertura de las paredes laterales y frontales para regular la temperatura al interior (SADER, 2018). Dentro de las ventajas de estas estructuras destaca su fácil construcción y la menor retención de calor en la noche, debido a su poco volumen (Juárez *et al.*, 2011).

Los macro túneles ofrecen varios beneficios como: extienden la temporada de producción, mantiene la calidad del fruto y pueden fomentar operaciones donde el consumidor va y recoge los frutos que desea comprar. Actualmente estas estructuras están siendo utilizados en la producción de hortalizas y más recientemente en berries, principalmente en los períodos fríos para el crecimiento vegetativo de estos cultivos. El uso de macro túneles para la producción de berries han permitido producir con buena calidad del fruto aún y cuando ocurren granizadas o lluvias fuertes (SADER, 2018).

Casa sombra: esta categoría es una versión específica de la agricultura protegida de tecnología baja, este tipo de estructuras son cada vez más utilizadas por los productores. Permiten aumentar la productividad y disminuir los diversos riesgos de la producción. Con una inversión relativamente baja, logran beneficios significativos, en particular menor vulnerabilidad, mayor productividad y aumento en la eficiencia en el uso del agua y de los insumos químicos. Consiste en la construcción de una estructura que sostiene una malla permeable sobre las tierras de producción existentes de campo abierto, casi siempre con riego por goteo. La estructura reduce el riesgo de la infección por

insectos, el viento y el granizo, y permite a los productores utilizar variedades “indeterminadas” más productivas (Pratt y Ortega, 2019).

Esta estructura tiene dimensiones de 3 m de alto por 5 m de ancho, con postes colocados cada 5 o 10 m según lo requerido, aunque hay estructuras de dimensiones más grandes y altas. La capacidad de este tipo de construcción para reducir exitosamente el ingreso de insectos ha hecho que se utilicen principalmente donde éstos representan problemas de sanidad y donde no se requiere de protección al clima. La duración de las mallas de polietileno, con un buen manejo, puede ser de 4 años mientras que de polipropileno duran hasta 8 o 10 años (Juárez *et al.*, 2011).

Producción de jitomate en altas temperatura

Generalidades

La susceptibilidad a altas temperaturas afecta el desarrollo vegetativo y reproductivo, variando con la etapa de desarrollo de la planta (Barnabás *et al.*, 2008; Sakata y Higashitani, 2008). En respuesta al estrés por calor, las plantas manifiestan diferentes adaptaciones morfológicas, incluyendo mecanismos de corto plazo de evitación o aclimatación que implican la orientación de las hojas y la transpiración (Wahid *et al.*, 2007).

Respuesta del jitomate a temperaturas altas

La primera respuesta de las plantas al impacto del estrés por temperatura alta es la reducción en la duración de todas las etapas de desarrollo, además, se reduce el tamaño de sus órganos y finalmente disminuye el rendimiento agrícola (Foolad, 2002). Las plantas sólo pueden desarrollarse entre sus umbrales térmicos o temperaturas mínimas y máximas, variando según la especie y se maximiza su desarrollo cuando se presentan temperaturas óptimas (Peet *et al.*, 1997; Sato *et al.*, 2002; Sato y Peet, 2005; Giorno *et al.*, 2010).

La temperatura promedio óptima para el cultivo se encuentra entre 21-24 °C (Wahid *et al.*, 2007), en función de las etapas de desarrollo de la planta, las

temperaturas unos pocos grados por encima del rango óptimo pueden reducir la producción de frutos y la formación de semillas (Peet *et al.*, 1997; Sato *et al.*, 2002; Peet, 2009). De modo que, temperaturas diurnas superiores a 32 °C y temperaturas nocturnas mayores de 21 °C disminuyen la producción de tomate (Comlekcioglu *et al.*, 2010; Wahid *et al.*, 2007). Al igual que en otros cultivos, en el tomate los órganos reproductivos son generalmente más sensibles al calor que los órganos vegetativos (Ruan *et al.*, 2010; Zinn *et al.*, 2010; Bitá *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2012).

El incremento de las temperaturas del sitio de producción afecta a los órganos femeninos y masculinos del jitomate, el mayor daño se produce en la fase de meiosis, donde se reduce la viabilidad y la cantidad de polen producido (Sato *et al.*, 2002; Bitá *et al.*, 2011).

Ahora bien, el período crítico de desarrollo de las plantas de tomate en presencia de temperaturas altas se encuentra entre 8-13 días anteriores a la antesis, lo cual se asocia a cambios en el desarrollo de las anteras, irregularidades en la epidermis, además de la pobre formación del polen (Sato *et al.*, 2002; Giorno *et al.*, 2010). Se produce mayor efecto negativo en la microsporogénesis que en la megasporogénesis (Frank *et al.*, 2009). Durante el desarrollo del polen, los carbohidratos solubles presentes en las esporas pueden consumirse inmediatamente o ser polimerizados y transformados en otras moléculas. Por lo que, en presencia de estrés por calor, se reduce la concentración de almidón tres días antes de la antesis que provoca disminuciones en la concentración de azúcares en los granos de polen maduros, lo que puede contribuir a la disminución de la viabilidad del polen (Frank *et al.*, 2009; Giorno *et al.*, 2010).

El número de frutos por planta constituye uno de los principales componentes del rendimiento y se encuentra correlacionado con el mismo y con la capacidad de cuajado, de ahí que se ha destacado la importancia de este indicador en la selección para incrementar los rendimientos del tomate, siendo de gran ayuda en la identificación de cultivares tolerantes al calor (Abdelmageed y Gruda, 2012).

A su vez, en el desarrollo del grano de polen y las anteras, se han observado desbalances en los contenidos de prolina, poliaminas y carbohidratos en condiciones de estrés por calor a 32-36 °C de corta y prolongada duración asociados a fallos en la fructificación (Pressman *et al.*, 2007). Mientras que temperaturas de 38 °C provocan reducciones de la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico, debido a la disminución en los contenidos de espermidina, espermina, azúcares solubles. Así como una pobre asimilación del almidón en la formación y maduración de los granos de polen (Pressman *et al.*, 2007; Giorno *et al.*, 2010).

Bioestimulación en las plantas

Los bioestimulantes son sustancias que promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas, además de mejorar su metabolismo y desarrollar resistencia ante condiciones adversas, como sequías o el ataque de plagas. Además de su posible contenido de nutrientes. También pueden contener sustancias, compuestos y/o microorganismos, que al ser aplicados a las hojas o en la rizosfera mejoran el desarrollo del cultivo y consecuentemente el rendimiento, mediante la estimulación de procesos naturales aumentan el aprovechamiento de nutrientes e incrementan la resistencia a condiciones de estrés biótico y/o abiótico (INTAGRI, 2023a).

Los bioestimulantes pueden estar compuestos por hormonas vegetales, o bien, de extractos de algas marinas, aminoácidos, enzimas o vitaminas como la tiamina, ácidos húmicos, entre otros (INTAGRI, 2023a).

Ácido salicílico en la agricultura

El ácido salicílico (AS) es un compuesto químico pertenece a un grupo de compuestos fenólicos vegetales, que cuenta con una masa molecular de 138.12 g mol⁻¹. Este compuesto se ha utilizado en humanos para reducir dolores, fiebre y enfermedades crónicas del corazón (Bonnemain *et al.*, 2013). En las plantas, es transportado vía floema y producido en hojas jóvenes, meristemos florales y vegetativos (Cleland y Ajami, 1974).

Función de ácido salicílico en plantas

Las plantas han desarrollado algunas sustancias químicas notables, a menudo para defenderse de ser destruidas. Entre varias sustancias fenólicas, el AS ejerce influencia sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, la maquinaria fotosintética, la floración, la permeabilidad de la membrana y la actividad enzimática (Bandurska, 2013). También desempeña un efecto positivo en las plantas como la termogénesis, la inducción de la floración, la absorción de iones, la biosíntesis de etileno, el movimiento estomático. Así mismo, revierte los efectos del ácido abscísico en la abscisión de la hoja (Yusuf *et al.*, 2013).

El AS se ha establecido como un importante regulador de la fotosíntesis, las relaciones hídricas y los aspectos metabólicos de las plantas. Por lo que se han estudiado concentraciones, modo de aplicación y efecto en función del tipo de planta (Yusuf *et al.*, 2013).

A altas concentraciones de AS (1-5 mM) causa reducción en la tasa fotosintética y actividad de la enzima RuBisCo en plantas de cebada (Pancheva *et al.*, 1996). La disminución de la actividad de la RuBisCo se atribuye a la reducción del 50 % en los niveles de proteína, en comparación con las plantas no tratadas, mientras que la proteína soluble total disminuyó en un 68 % (Pancheva y Popova 1998).

El AS es esencial en la regulación de los procesos de desarrollo de las plantas que afectan la absorción de nutrientes, la diferenciación vascular, el alargamiento del tallo, el desarrollo foliar y la senescencia (Rubio *et al.*, 2009).

La producción de calor y la termogénesis en las plantas favoreció el descubrimiento de AS como una hormona vegetal endógena. Los hallazgos iniciales demostraron que AS desencadena un aumento dramático en la producción de calor metabólico y químicos que atraen insectos en la inflorescencia termogénica de los lirios (Raskin, 1992) y posiblemente también en otras plantas.

Con lo mencionado de las ventajas y desventajas de la aplicación exógena y endógena del AS también se ha demostrado que juegan un papel importante en el rendimiento de los cultivos (Yusuf *et al.*, 2013).

Síntesis del AS por las plantas

El ácido salicílico forma parte de un amplio grupo de compuestos sintetizados en plantas denominados fenólicos, los cuales poseen en su estructura química un grupo hidroxilo unido a un anillo aromático. Los compuestos fenólicos participan en muchas funciones metabólicas en plantas, como son: la síntesis de lignina, actividad alelopática, y en algunos casos, la biosíntesis de compuestos relacionados a la defensa como las fitoalexinas (Rangel-Sánchez *et al.*, 2010).

Se ha encontrado que en algunos casos el efecto del AS dentro del metabolismo de las plantas puede ser de forma indirecta, ya que altera la síntesis y/o señalización de otras hormonas que incluyen la vía del ácido jasmónico (AJ), etileno (ET) y auxinas (Lorenzo y Solano 2005). Con relación a la biosíntesis del SA, este puede ser generado por dos vías enzimáticas que requieren del metabolito primario del corismato (Garcion y Métraux, 2006; Chen *et al.*, 2009). El aminoácido L-fenilalanina, puede ser convertido en ácido salicílico por dos vías, una mediante el intermediario benzoato y la otra mediante el ácido cumárico, a través de una serie de reacciones enzimáticas inicialmente catalizadas por la enzima Fenilalanina Amonio Liasa (FAL). A su vez, el corismato puede también ser convertido en AS vía isocorismato, en un proceso de dos pasos que implica la participación de las enzimas Isocorismato Sintasa (ICS) e Isocorismato Piruvato Liasa (IPL) (Verberne *et al.*, 2000; Wildermuth *et al.*, 2001) (Figura 2.4).

La mayoría del AS en la planta es convertida a AS O- β -glucósido (ASG) por medio de una enzima llamada AS glucosil transferasa (ASGT) inducible por patógenos (Dean *et al.*, 2005) (Figura 2.4).

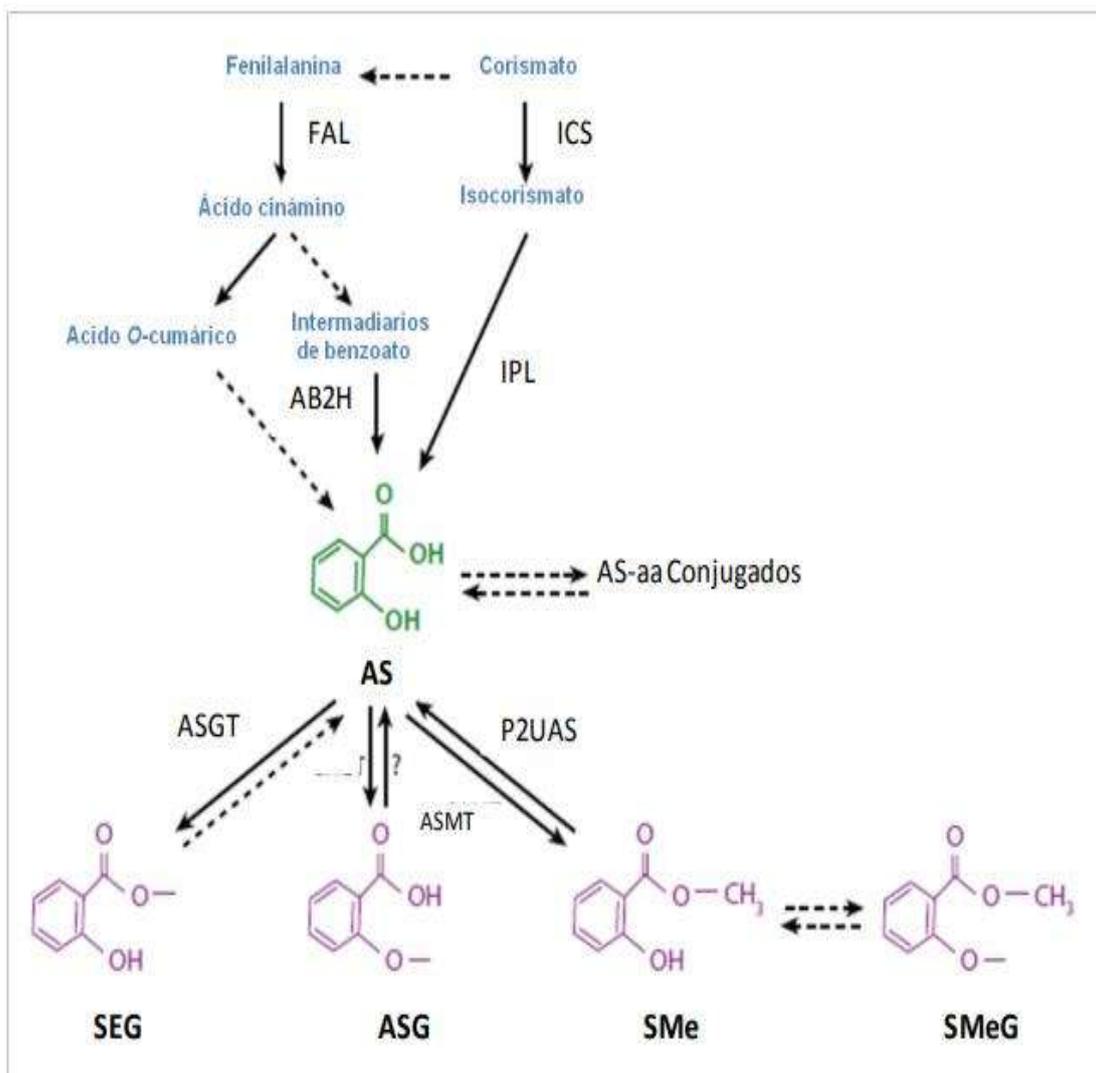


Figura 2.4. Biosíntesis y metabolismo del AS. Abreviaturas: FAL, fenilalanina amonio liasa; ICS, isocorismato sintasa; IPL, isocorismato piruvato liasa; AB2H, ácido benzoico 2-hidroxilasa; AS, ácido salicílico; ASGT, ácido salicílico glucosil transferasa; aa, aminoácidos; ASMT, AS metil tranferasa; P2UAS, proteína 2 unida a AS; MES, metil esterasa; SEG, saliciloil éster glucosa; ASG, AS O-β glucósido; SMe, salicilato de metilo; SMeG, salicilato de metilo O-β-glucósido. (Modificado de Vlot *et al.*, 2009).

En *Arabidopsis*, el AS es sintetizado probablemente en cloroplastos (Strawn *et al.*, 2007), mientras que en tabaco la enzima ASGT parece estar localizada en el citosol. El ASG, en tabaco, es activamente transportado del citosol hacia la vacuola, donde puede funcionar como una forma almacenada inactiva que puede ser convertida a AS en caso de ser necesario (Dean *et al.*, 2005).

El salicilato de metilo (SMe), es otro derivado del AS y/o su forma glucosilada (SMeG) también puede acumularse en niveles relativamente altos in vivo. Se ha demostrado que tanto el SMe como el ASG son biológicamente inactivos, mientras que una forma hidroxilada del AS, el ácido 2,5 dihidroxibenzóico (ácido gentísico), que también se acumula en plantas, puede inducir la expresión de genes PR específicos en tomate (Shulaev *et al.*, 1997; Dean *et al.*, 2005; Park *et al.*, 2007).

Resultados de la aplicación de ácido salicílico en cultivos

Almeida *et al.* (2022), tuvieron respuestas positivas en aplicaciones foliares semanales del ácido acetil salicílico a 0, 5, 10, 20 y 25 mmol L⁻¹, iniciando la primera aplicación a los 30 ddt y se observó que a dosis máxima de 25 mmol L⁻¹, es con el que se incrementó la emisión de botones florales y la altura de las plantas de jitomate bajo producción de hidroponía.

Raddy y Korrat (2020), demostraron que al aplicar de forma foliar el ácido acetil salicílico a las dosis de 50, 100, 150, 200, 250 y 300 ppm en laboratorio y de 100, 200 y 300 ppm en invernadero, tuvieron mayores efectos de nematocida a dosis de 150 ppm en laboratorio y 300 ppm en invernadero, la actividad nematocida en invernadero se incrementó al aumentar la concentración de AAS, inhibiendo al nematodo agallador *Meloidogyne incognita*, en el cultivo de jitomate en condiciones de laboratorio e invernadero.

Vázquez-Díaz *et al.* (2016), encontraron resultados favorables con la aplicación foliar de ácido salicílico a concentraciones de 0, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2 y 0.4 mM, que fueron aplicados de forma quincenal a partir de los 15 ddt. Se mejoró la calidad y los rendimientos de los frutos de jitomate a dosis de 0.025 y 0.1 mM, lo que incrementó la producción y la calidad nutricional de los frutos de jitomate.

Khan *et al.* (2015), demostraron que la aplicación del ácido silícico es positiva para las plantas en entornos óptimos o de estrés. Y también regula varios procesos metabólicos de las plantas y modula la producción de diversos osmolitos y metabolitos secundarios. Así mismo, mantiene el estado de nutrientes de las plantas.

Guzman-Tellez *et al.* (2014), obtuvieron resultados benéficos al realizar aplicaciones exógenas de ácido salicílico a las plántulas de jitomate a concentración de grado reactivo de 0.0138 g L^{-1} , se inició a partir de la siembra en charola y cada 12 días para las próximas aplicaciones. El ácido salicílico aplicado como pulverización foliar aumentó la concentración foliar del compuesto a $8 \mu\text{g g}^{-1}$ peso fresco en comparación con el control que mostró un valor máximo de $5 \mu\text{g g}^{-1}$. De acuerdo con los resultados obtenidos por Guzman-Tellez *et al.* (2014), las aplicaciones de AS en jitomate deben realizarse en un intervalo mínimo de ocho días para mantener la concentración de AS relacionada con el aumento de la tolerancia de la planta al estrés ambiental.

Horotan y Oancea (2013), evaluaron el efecto del ácido acetil salicílico a dosis de 500 mg, las aplicaciones fueron por soluciones experimentales del 0.5 % ($5 \text{ g } 10 \text{ L}^{-1}$ agua en 100 m^2) y demostraron que tuvo efectos antifúngicos en patógenos de jitomate principalmente contra *Phylum Ascomycota*, *Verticillium* y *Fusarium* en comparación con el tratamiento testigo.

Falcioni *et al.* (2013), demostraron el efecto favorable de la aplicación del ácido salicílico en las plantas de jitomate a las concentraciones de 1.5 y 3.5 mM de AS. Las aplicaciones se iniciaron a los 21 ddt y el intervalo fue semanal, los resultados indicaron que a la dosis de 1.5 mM se logró mayor tolerancia inducida del virus X de la papa (PVX) por AS, ya que se retrasó el desarrollo del virus en el cultivo.

Ramírez (2012), demostró en condiciones protegidas que el ácido salicílico aplicado a plantas de acelga (*Beta vulgaris*) a concentraciones de 0, 1×10^{-6} , 1×10^{-8} y 1×10^{-10} M, (las soluciones fueron aplicadas en dos ocasiones, la primera a partir de la aparición de cuatro a cinco hojas y la segunda fue aplicada a los seis días después de la primera aplicación. Se cambió el patrón de distribución de biomasa, de forma general todas concentraciones incrementaron la acumulación de biomasa en hojas y tallos, respecto al testigo. También se favoreció el crecimiento y el desarrollo del cultivo de acelga.

Las algas marinas como bioestimulantes vegetales

Las algas marinas se han utilizado durante milenios como suplementos alimenticios para mejorar la nutrición y la productividad animal. Las investigaciones recientes indican que los extractos de algas marinas pueden modificar las respuestas de plantas y animales a un nivel fundamental (James y Creigie, 2011). Así mismo, se ha encontrado que las algas marinas tienen propiedades para actuar como conservantes naturales que extienden la vida útil de los alimentos perecederos sin afectar su calidad y sin provocar efectos secundarios (Banu *et al.*, 2018).

No todos los extractos de algas marinas tienen los mismos efectos sobre las plantas, debido a las variaciones en su composición, aunque la mayoría de ellas contienen los principales nutrientes requeridos por las plantas como el nitrógeno, el fósforo y el potasio. Además, son fuente de aminoácidos y vitaminas e incluso de fitohormonas como las auxinas y las citoquininas (Pramanick *et al.*, 2017).

Posibles mecanismos de acción a nivel celular

Las sustancias bioestimulantes que componen los extractos de algas tienen una influencia positiva en el metabolismo celular, que beneficia el desarrollo de las plantas. Se ha demostrado que la aplicación de extracto procedente de *Ascophyllum nodosum* L. confiere mayor tolerancia a la sequía en *Arabidopsis thaliana* L. (González, 2022). Esto es debido a la disminución de inhibidores de crecimiento en condiciones de estrés y la activación de genes relacionados con el crecimiento y división celular en los meristemas apicales de las plantas tratadas con el extracto del alga (Baltazar *et al.*, 2021) (Figura 2.5).

Además, según Zhang *et al.* (2003) la combinación de extractos de *Ascophyllum nodosum* L. y ácidos húmicos promueve la síntesis de superóxido dismutasa (SOD) y actividad fotoquímica. Esto se asocia a ciertos compuestos como las citoquininas, las auxinas, las poliaminas y las betaínas, que han sido relacionados con la estabilización de la membrana plasmática protegiendo al fotosistema II (PSII) durante estrés osmótico y térmico (Figura 2.5).

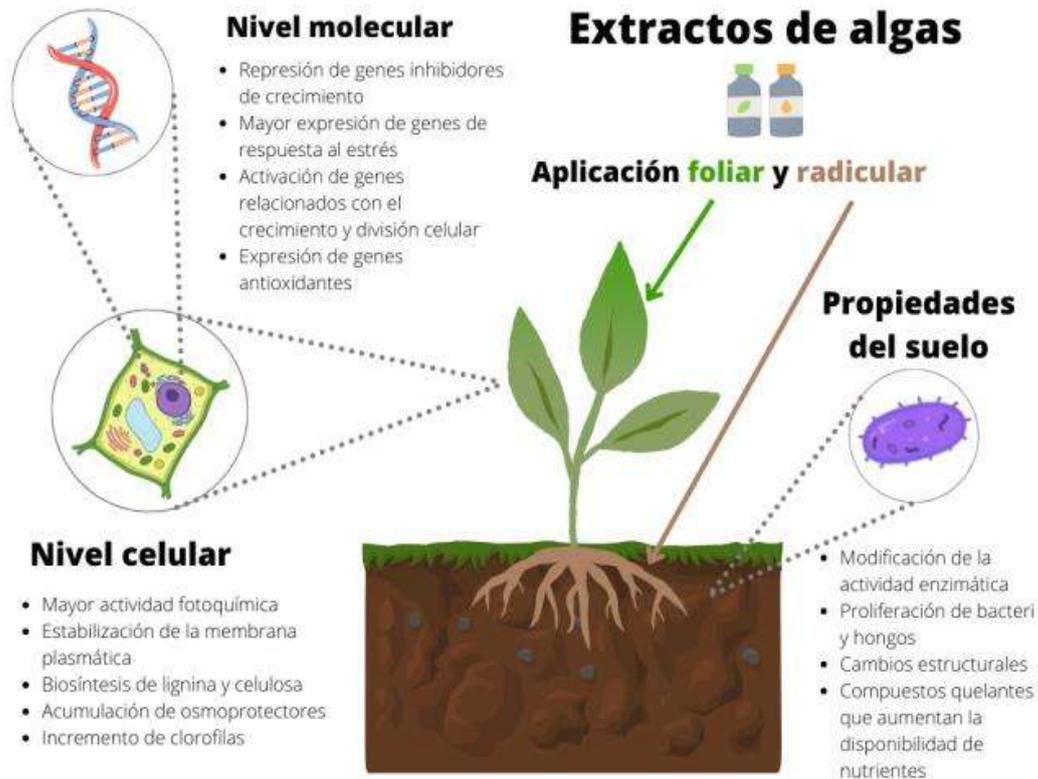


Figura 2.5. Mecanismos de acción de los extractos de algas a nivel celular, molecular y en las propiedades del suelo (Zhang *et al.*, 2003; Chojnacka *et al.*, 2012; Alam *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2016; Layek *et al.*, 2018; Renaut *et al.*, 2019; Islam *et al.*, 2020; Baltazar *et al.*, 2021).

***Ascophyllum nodosum* como bioestimulante**

Los extractos de *Ascophyllum nodosum* son utilizados como bioestimulantes, pues estimulan a la planta para producir sus propias hormonas, contribuyen en la absorción y translocación de nutrientes presentes en el suelo. Los ingredientes activos que contiene el extracto de *Ascophyllum nodosum* y que permiten entender su comportamiento y efecto en la planta son: betaínas, manitol, ácido algínico, polifenoles, fucanos y laminarina (INTAGRI, 2023b) (Cuadro 2.1).

Cuadro 2.1. Efecto de los ingredientes activos de *Ascophyllum nodosum* en las plantas (Aguilar, 2015).

Ingrediente activo	Efecto en la planta
Betaínas	Sirve como un soluto que alivia el estrés osmótico inducido por salinidad y sequía y mejoran la clorofila de las hojas.
Manitol	Confiere flexibilidad y adaptación a los fenómenos de estrés. Presentan un excelente efecto bioestimulante en plantas y juegan un importante papel en la defensa frente a enfermedades.
Polifenoles	Son sustancias con alto poder antioxidante para estabilizar y reforzar las paredes celulares frente al ataque de patógenos y son a su vez sustancias con efecto anti microbiológico.
Laminarias	Estimulan la síntesis de fitoalexinas y suelen ser sustancias con efecto antifúngico.
Fucanos	Tienen un papel importante en la respuesta a estrés abiótico, dado su efecto elicitor en el metabolismo vegetal y la inducción que promuevan para la síntesis de sustancias de respuesta.

Estos productos también afectan las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, que favorecen el crecimiento de los cultivos. Mejoran la capacidad de retención de humedad por su alto contenido en fibra y promueve la actividad de microorganismos benéficos del suelo. Estas algas pardas son ricas en poliuronides como los alginatos y el fucano, donde los agentes gelificantes y quelatantes de estos polisacáridos junto con sus propiedades hidrofílicas hacen que estos compuestos sean importantes en el sector agrícola (INTAGRI, 2023b) (Figura 2.6).



Figura 2.6. *Ascophyllum nodosum*, alga con uso potencial para la agricultura.

Resultados de *Ascophyllum nodosum* en cultivos

Carmody *et al.* (2020), evaluaron en condiciones de estrés por calor dos tipos de extractos de *Ascophyllum nodosum* el primero es denominado C129

(compuesto de: 32.10, 64.81, 0.65 y 2.44 % de ceniza, carbohidratos totales, polifenoles y otros orgánicos, respectivamente), el segundo se llama PSI-494 (compuesto de: 35.81, 63.52, 0.55 y 0.12 % de ceniza, carbohidratos totales, polifenoles y otros orgánicos, respectivamente) y un tratamiento testigo, para la mejora del estrés por calor durante el cuajado de frutos de jitomate, y mostraron efectos significativos en los dos extractos respecto al testigo, sobre el desarrollo de la floración, la viabilidad del polen y la producción de frutos. Por lo que se mejoró la productividad con la aplicación de este extracto en comparación con el testigo.

Sarmiento-Sarmiento *et al.* (2019), evaluaron la aplicación foliar de dos niveles de *Ascophyllum nodosum* AN (2 y 4 L ha⁻¹) y tres niveles de humus de lombriz HL (4, 8 y 12 t ha⁻¹), en el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*), en donde el HL se incorporó al suelo en dosis completa a 30 días de la siembra (dds) y el AN se aplicó vía foliar a 30 y 60 dds. Como resultado mostraron tener un mayor efecto en la interacción de HL con 8 t ha⁻¹ y AN de 2 L ha⁻¹, en el peso promedio de frutos de sandía y rendimiento, respecto al testigo.

Ali *et al.* (2019a), evaluaron la efectividad de las aplicaciones foliares de *Ascophyllum nodosum* a la concentración de 0.5 % y suministrada a intervalos de 10 días entre aplicaciones, iniciando a partir de los 20 ddt, para el control de la mancha bacteriana *Xanthomonas campestris* XC pv. y tizón temprano *Alternaria solani* en los cultivos de jitomate y pimiento dulce (*Capsicum annuum*) en un ambiente tropical. La aspersion foliar de AN fue capaz de reducir significativamente ($P < 0.05$) la enfermedad y niveles de severidad para ambos patógenos en los dos cultivos (66 %, 64 % y 56 % para *X. Campestris*. y *A. solani*, respectivamente) en comparación con el control. También aumentó significativamente ($P < 0.05$) la altura de la planta (40 %), el número de hojas (50 %), la biomasa seca de la planta (52 %), la longitud de la raíz (59 %) y el contenido de clorofila (20 %) en comparación con el control.

Ali *et al.* (2019b), realizaron estudios sobre la efectividad de las aplicaciones de extractos de *Ascophyllum nodosum* en concentraciones de 0.5 %, en plantas de jitomate sobre los cambios transcriptómicos, que son los fenómenos inducidos por el extracto en las plantas. Los resultados indican que mejoró

significativamente la actividad de las enzimas de defensa de las plantas con la aplicación del extracto. Además, las plantas de tomate tratadas con *A. nodosum* presentaron un contenido significativamente mayor de clorofila y hormonas de crecimiento. Por lo que mostraron aumento en el crecimiento de planta y mayores perfiles de nutrientes que el control.

Di Stasio *et al.* (2018), realizaron la aplicación del alga marina *A. nodosum* a concentraciones de 70 y 100 % de forma foliar en plantas de jitomate expuestas a salinidad de 0, 42.4 y 85 mM de NaCl bajo condiciones protegidas. Las aplicaciones iniciaron a partir de los 15 ddt a intervalos de 2 semanas entre aplicaciones. En las condiciones experimentales reportadas, observaron diferencias moderadas tanto con los extractos de algas como con la tolerancia al estrés. Se observó que las plantas habían mejorado las relaciones hídricas bajo el tratamiento de estrés y una serie de rasgos de calidad de la fruta. También encontraron aumentos significativos en la acumulación de minerales, antioxidantes y aminoácidos esenciales en los frutos de tomate, con una mejora general en el valor nutricional de la producción.

***Ecklonia maxima* como bioestimulante**

El alga marina *Ecklonia maxima*, también conocida como alga gigante o alga bambú, crecen en condiciones medio ambientales extremas. De este tipo de alga se extraen importantes principios activos para la fabricación de fertilizantes especiales de alto rendimiento. Esta especie crece en un medio de fuertes mareas y oleajes, una luminosidad alta, sobre lechos rocosos agitados, aspectos que la hacen un alga única en el mundo. Contiene altas concentraciones de fitohormonas naturales como auxinas, citoquininas, giberelinas, entre otros, carbohidratos, proteínas, aminoácidos, vitaminas y minerales (Figura 2.7). También es fuente de precursores auxínicos, que genera efectos de estimulación del crecimiento vegetal. Estos precursores promueven el desarrollo de raíces adventicias en la planta y estimulan la producción de citoquininas; hormona que promueve la división y la diferenciación celular (KELPAK, 2020).



Figura 2.7. *Ecklonia maxima*, un alga con uso potencial para la agricultura.

La integridad de los compuestos de *E. maxima* está garantizada por un particular proceso físico de extracción. Gracias a la relación Auxinas/Citoquininas aportadas por la misma alga, favorece el desarrollo de nuevas raíces y el crecimiento de yemas laterales. Con la consiguiente producción endógena de citoquininas, se obtienen frutos de más calidad, con mayores calibres y más homogéneos. Aumenta también la resistencia de la planta frente a estreses climáticos como la sequía y las temperaturas extremas (Terralia, 2023).

Resultados de *Ecklonia maxima* en cultivos

Moncada *et al.* (2022), evaluaron el efecto del extracto de *E. maxima* a concentraciones de 0, 4.55 y 9.10 mL L⁻¹ de solución, en los cultivos de lechuga y tomate en condiciones de vivero, y demostraron que con la aplicación del alga marina se logró mayor crecimiento, números de hojas, área foliar y tallos más fuertes de las plantas de tomate. Mientras que en lechuga se mejoró la calidad de las plántulas y se promovió el crecimiento de brotes y raíces, que aumentó el crecimiento del cultivo.

Cozzolino *et al.* (2021), estudiaron en el cultivo de jitomate la efectividad de la aplicación foliar de tres bioestimulantes: uno a base de *Ecklonia maxima* a la

dosis de 2 mL L⁻¹, otro fue un hidrolizado de proteína derivado de leguminosas (2 ml L⁻¹) y un extracto de planta tropical a la concentración de 3 mL L⁻¹. Se compararon con un control no tratado y las aspersiones se realizaron de forma quincenal a partir de los 15 ddt. Como resultados obtuvieron que con las aplicaciones de *E. maxima* aumentó significativamente la acumulación de materia seca y firmeza de los frutos, así como el contenido de nitrógeno. También cosecharon frutos más grandes, lo que generó el aumento en el rendimiento y la calidad de los frutos de jitomate.

Rengasamy *et al.* (2014), realizaron estudios sobre la efectividad de las aplicaciones de un extracto de *E. maxima* como Kelpak® (0.4 %), sobre el crecimiento de plántulas de frijol mungo (*Vigna mungo* L.), cebada (*Hordeum vulgare*) y maíz (*Zea mays*). En sus resultados mostraron aumentos significativos en la longitud de los brotes y las raíces, en raíces seminales y en el peso de las plántulas con el extracto de *E. maxima*. Con potencial para aumentar la productividad agrícola en cultivos.

Crouch y Van (1993), al aplicar *E. maxima* a concentraciones de 0, 0.2, 0.4 y 1.0 %, de forma foliar en plantas de jitomate hidropónico bajo invernadero, tuvieron resultados con incrementos significativos en el crecimiento de las plantas, además, se redujo la infestación por *Meloidogyne incógnita* a las plantas tratadas con 0.4 % de algas marinas. También evaluaron la efectividad del control *in vitro* del nematodo con *E. maxima* en dos cultivares de jitomate a dosis de 0, 0.2, 0.4 %. Los tratamientos *in vitro* aplicados a la concentración de 0.4 % de alga marina disminuyó significativamente el número de agallas y masas de huevos del nematodo *M. incógnita*.

***Sargasum vulgare* como bioestimulante**

Es un alga que pertenece al dominio Eucaria y al reino plantae, al grupo de las algas cafés. Son organismo béntico, es decir, que se encuentran en el fondo marino de las aguas costeras (Silva *et al.*, 2019).

Esta alga presenta un talo con una gran diferenciación morfológica: un eje cilíndrico, con ramificaciones laterales aplanadas en forma de hojas llamadas folíolos de 1 a 4 cm de largo y de 2 a 5 mm de ancho, onduladas y perforadas. Presenta unas vesículas aéreas o pneumatocistos en las axilas de las ramas. Es de una tonalidad verde oliva marrón (Immersio, 2005) (Figura 2.8).



Figura 2.8. *Sargasum vulgare*, alga con uso agrícola.

Como potencial bioestimulante se ha observado que al utilizar un extracto líquido obtenido de esta alga en cultivos de frijol (*Phaseolus vulgaris*) aumentó la velocidad de crecimiento, el largo de las raíces, la altura del tallo, el tamaño de la hoja, así como el rendimiento agrícola. Esto se debe que le provee elementos como: Fe, Cu, Zn, Mn, N, P, K, S, Ca y Mg. Además de reguladores de crecimiento como las giberelinas y auxinas. También son fuente de biomoléculas como metabolitos, carbohidratos y vitaminas. Esto le permite al suelo mejorar sus propiedades químicas, físicas y biológicas (Vijayanand *et al.*, 2014).

Sutharsan *et al.* (2014), encontraron que *S. vulgare* contiene estimuladores de crecimiento como las fitohormonas, elementos traza (Fe, Cu, Zn, Co, Mn y Ni), vitaminas y aminoácidos. Así mismo, también se ha reportado que en las plantas estimulan el crecimiento y rendimiento, gracias a que desarrollan tolerancia al estrés ambiental, incrementan el consumo de nutrientes y mejoran las propiedades antioxidantes.

Resultados *Sargasum vulgare* en cultivos

Mahmoud *et al.* (2019), evaluaron el efecto de *S. vulgare* la dosis de 3 mL L⁻¹ en el cultivo de rábano (*Raphanus sativus*) de dos temporadas de producción, en el que se realizaron dos aplicaciones; la primera fue en el momento de la

siembra con el remojo de las semillas y la segunda se realizó mediante una pulverización foliar. Se encontró que la pulverización foliar mejoró el crecimiento, el rendimiento y la calidad nutricional de la hortaliza, con valores más altos de longitud de planta, número de hojas/planta, diámetro de la raíz, pesos frescos y secos de hojas en las dos temporadas.

Rivera-Solís *et al.* (2021), evaluaron el potencial bioestimulante de extractos hidroalcohólicos de *Sargassum spp.* para incrementar la tolerancia a la infección por *F. oxysporum* en plántulas de jitomate. Valoraron 17 extracciones del alga marina, los cuales se aplicaron de manera foliar a las plántulas a los 7, 12, 22, 33 y 43 días después del trasplante. La inducción de tolerancia de los extractos del alga marina se evaluó en términos de incidencia y severidad de la enfermedad y variables agronómicas. El mejor resultado fue con la extracción de 120 °C, 15 minutos y un 25 % de etanol, con el que obtuvieron el mayor control de la enfermedad, que representó 17 % menos de severidad y de síntomas respecto al testigo infectado.

Uribe-Orozco *et al.* (2018), evaluaron la aplicación al suelo de harina seca de *S. vulgare* a las dosis de 3, 6 y 9 g por tratamiento a la planta de cilantro (*Coriandrum sativum*). El suelo de cultivo presentó pH de 6.4 y CE de 0 mS cm⁻¹. Los mejores resultados se lograron con la aplicación de 6 y 9 g, que generaron la mayor longitud y peso seco total del cilantro, lo que conlleva a una mayor producción del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

Localización del sitio experimental

El experimento se realizó en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en Apatzingán, Michoacán. En las coordenadas 19°06'00" LN, y 102°22'00" LO, a 350 m de altitud. Con clima cálido seco, precipitación anual de 750 mm, temperatura máxima de 40 °C y la mínima de 20 °C (DB-City, 2023) (Figura 3.1).

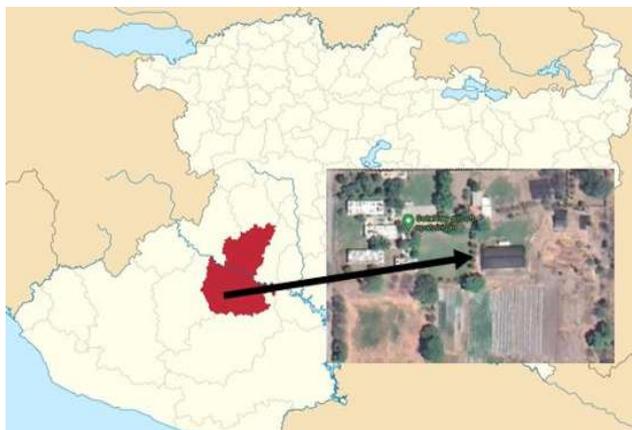


Figura 3.1. Sitio del área de estudio (Google maps, 2023).

Metodología

Para cubrir con los objetivos planteados de la investigación se procedió de la siguiente manera.

Características de la malla sombra

Se realizó la investigación en una estructura casa sombra tipo túnel con cubierta malla sombra al 50 %, el techo y laterales cubierto con malla antiáfida de 25 por 40 hilos por pulgada cuadrada, colocada de oriente a poniente, con una superficie de 200 m², 10 m de frente por 20 m de fondo, es una estructura rústica con altura de 7 m al cenit y 5 m a la canaleta (Figura 3.2).



Figura 3.2. Casa sombra utilizada en el estudio.

Elección del material vegetal

El material genético utilizado fue el jitomate Primus Max, de crecimiento determinado precoz, planta compacta, frutos con pared gruesa y con buena firmeza y calidad, buen rendimiento, peso del fruto entre 145 y 150 g, vigor intermedio (Figura 3.3) (Balan, 2022).



Figura 3.3. Material vegetal. **a**, semillas; **b**, plántula del jitomate en estudio.

Preparación del terreno

El 21 de enero del 2022, se preparó el suelo manualmente con pico y talachos, con la finalidad de aflojar el terreno y permitir la aireación del suelo, que es una parte fundamental en el proceso productivo de cualquier cultivo en suelo. Esto con la finalidad de generar características físicas óptimas para el establecimiento y crecimiento de las plantas (Figura 3.4).



Figura 3.4. Preparación del suelo.

Preparación de las camas

Se realizó la conformación de las camas, las cuales tuvieron una altura de 20 a 30 cm. Esto con el fin de mejorar el drenaje y la aireación del suelo para un buen desarrollo de las raíces de la planta. Además, se agregó azufre agrícola, para reducir el pH y para prevenir los problemas de hongos que puedan a ocurrir. La dosis aplicada fue de 0.5 kg por cama de 10 m de longitud (Figura 3.5).

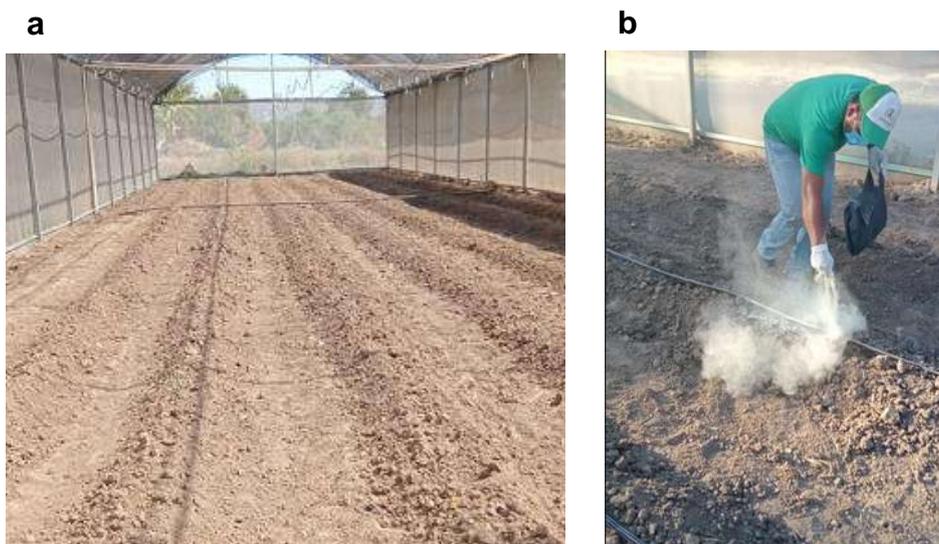


Figura 3.5. Preparación del surco. **a**, preparación de las camas; **b**, aplicación de azufre al suelo.

Instalación del sistema de riego por goteo

El sistema de riego estuvo integrado por cuatro contenedores con capacidad de 2,500 L para riego con agua y para el fertirriego se ocupó un rotoplas de 450 L. También, dentro del sistema de riego se tuvo una bomba de 3 HP; la línea primaria de conducción fue de 2" hasta llegar a la casa sombra, en donde se distribuyó el flujo de agua con mangueras secundarias de 0.5". Finalmente se distribuyeron las cintillas de riego (Figura 3.6).



Figura 3.6. Sistema de riego. **a**, recipientes de almacenamiento para el fertirriego; **b**, sistema de bombeo; **c**, colocación de cintilla de riego.

Colocación del acolchado

Después de la instalación del sistema de riego se procedió a colocar el acolchado de color blanco por la parte de superior y negro en la parte inferior, cubriendo las orillas con suelo, se procuró que el acolchado en las orillas no quedara levantado, con el propósito de mantener el control de la humedad y maleza (Figura 3.7).



Figura 3.7. Colocación del acolchado.

Labores agronómicas

Trasplante

El 3 de febrero del 2022 se realizó el trasplante que consistió en colocar una planta por orificio, a distancias de 40 cm entre planta a una hilera por surco. Después del trasplante se aplicó un riego pesado al terreno con el fin de saturar el suelo y tener suficiente humedad (Figura 3.8).



Figura 3.8. Trasplante de las plántulas de jitomate.

Riegos y Fertirriego (solución nutritiva)

Los riegos se suministraron cada tercer día en todo el ciclo del cultivo, la duración y cantidad de agua suministrada varió en función de las condiciones ambientales procurando siempre tener el suelo en condiciones de capacidad de campo.

La aplicación de nutrientes para el cultivo fue con la solución nutritiva universal de Steiner, la cual se ajustó su concentración de minerales de acuerdo con el análisis del agua (Ver Anexo 1), y la aplicación dependió de la etapa de desarrollo de la planta como se muestra en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Concentración de aplicación de la solución nutritiva Steiner en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo de jitomate.

Etapa de desarrollo	Solución Steiner	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻
		----- me L ⁻¹ -----					
Establecimiento	100 %	10.79	0.99	6.97	8.28	1.57	7.76
Desarrollo Vegetativo	100 %	10.79	0.99	6.97	8.28	1.57	7.76
Floración y amarre	150 %	16.185	1.485	10.455	12.42	2.355	11.64
Maduración y cosecha	200 %	21.58	1.98	13.94	16.56	3.14	15.52

El cuadro anterior describe la solución nutritiva que se proporcionó a través del fertirriego al cultivo de jitomate, que en la etapa de establecimiento y desarrollo vegetativo se aplicó el 100 % de la solución, en la etapa de floración y amarre del fruto se suministró al 150 % de solución ajustada y finalmente en la etapa de maduración y cosecha se duplicó la solución a la concentración del 200 % de nutrientes ajustadas. Este suministro fue cada tres días, realizándose riegos intermedios con agua.

Los fertilizantes utilizados fueron: nitrato de potasio, nitrato de calcio, sulfato de potasio, urea, sulfato de magnesio heptahidratado y ácido fosfórico P₂O₅ al 52 % (Cuadro 3.2). Estas fuentes previamente fueron diluidas en un recipiente de 10 L⁻¹ de capacidad, con el objetivo de homogenizar la solución y para posteriormente diluirse en un contenedor de 450 L⁻¹ de agua, y finalmente distribuirse en las líneas primarias, secundarias de goteo.

Cuadro 3.2. Fertilizantes utilizados en el experimento.

Fuente de nutrimento	Nombre del compuesto	Nombre comercial	Fabricante
H_3PO_4	Ácido fosfórico P_2O_5 52 %	Nutrimaster®	Tepeyac
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	Sulfato de magnesio heptahidratado	Sulmag®	Peñoles
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	Nitrato de calcio	Calcinit®	Yara
KNO_3	Nitrato de potasio	Ultrasol NKS + plus®	SQM
K_2SO_4	Sulfato de potasio	Ultrasol SOP 51®	SQM
CH_4N_2O	Urea	Urea®	Yara

Tutorado

Se llevó a cabo a los 20 días después del trasplante de forma manual, con el objetivo de mantener a las plantas erguidas. Se utilizaron materiales como estacas de madera e hilo rafia. Las estacas se colocaron cada tres plantas para dar soporte y la rafia se fue amarrando cada que fue necesaria y de acuerdo con la necesidad del cultivo (Figura 3.9).

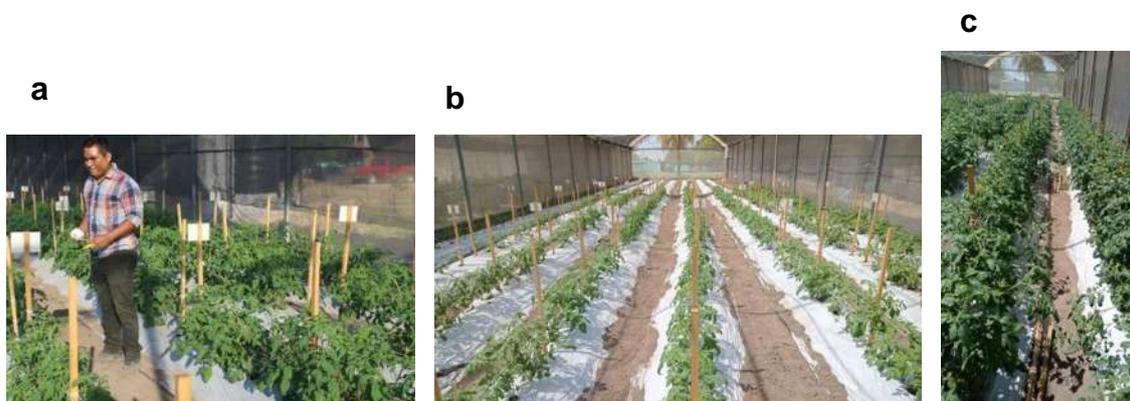


Figura 3.9. Labores culturales. **a**, entutorado de la planta de jitomate; **b**, camas sin malezas; **c**, cultivo en la etapa de floración.

Control de malezas

El control de malezas se realizó de forma manual, arrancando desde la raíz todas las plantas que puedan competir con el cultivo (Figura 3.9).

Polinización

Un elemento que ha limita la producción en ambientes protegidos es la polinización y se buscó tener una buena polinización de forma manual, moviendo la planta por las mañanas en la etapa de floración (Figura 3.9).

Control de plagas y enfermedades

Para el control de plagas y enfermedades se monitoreó periódicamente el cultivo durante todo el desarrollo vegetativo, realizando un control cultural que consistió en la eliminación inmediata de las malezas que podían ser reservorios de plagas y enfermedades. También mediante control biológico, que consistió en utilizar productos repelentes de insectos, y como última opción se realizó el control químico, cuando los problemas fitosanitarios fueron difíciles de controlar. En un principio se realizaron aplicaciones preventivas y posteriormente se aplicaron productos sistémicos con los ingredientes activos y dosis recomendadas por el fabricante (Cuadro 3.3 y 3.4).

Cuadro 3.3. Principales plagas presentadas en el cultivo de jitomate.

Común	Plagas		Nombre del producto		Dosis g o mL L ⁻¹ de agua
	Científico	Comercial	Ingrediente activo		
Grillos	<i>Gryllidae</i>	MALATHION 1000E [®]	Malatión		3
Mosquita blanca	<i>Bemisia tabaci</i> <i>Trialeurodes vaporariorum</i>	Toretto [®]	Sulfoxaflor		0.8
		Confidor [®]	Imidacloprid		1.5
		Sivanto [®]	Flupyradifurone		1.5
		Extracto de canela [®]			2
Minador de la hoja	<i>Lyriomiza spp</i>	Toretto [®]	Sulfoxaflor		0.8
		Confidor [®]	Imidacloprid		1.5
		Sivanto [®]	Flupyradifurone		1.5
		Extracto de canela [®]			2

Cuadro 3.4. Principales enfermedades presentadas en el cultivo de jitomate.

Común	Enfermedades		Nombre del producto		Dosis g o mL L ⁻¹ de agua
	Científico	Comercial	Ingrediente activo		
Damping off	<i>Fusarium sp</i> <i>Pythium sp</i> <i>Rhizoctonia solani</i>	Cercobin M [®]	Tiofonato metílico		1
		Ridomil [®]	Metalaxil		1
		Cupravit [®]	Oxicloruro de cobre		3
		Previcur energía [®]	Propamocarb y Fosetil		1.5
Cenicilla	<i>Erysiphe cichoracearum</i>	CAPTAN ULTRA 50WP [®]	Captán		1
		GlucTron [®]	Gluconato de cobre		3
		Terramicina agrícola [®]	Oxitetraciclina		2

Cosecha

La cosecha se realizó de manera manual, cuando el fruto tuvo un índice de cosecha comercial, es decir, con un color rojo pálido o marrón (Figura 3.10).

Tratamientos en estudio y diseño experimental

Tratamientos

Se evaluó la aplicación de las algas marinas *Ascophyllum nodosum* (AN), *Ecklonia maxima* (EM) y *Sargasum vulgare* (SV) solas y en combinación con ácido acetilsalicílico (AAS).



Figura 3.10. Cosecha del fruto de jitomate.

Los tratamientos fueron los siguientes: AN, EM, SV, AAS, AN+AAS, EM+AAS, SV+AAS más un tratamiento control o testigo (en el que sólo se suministró agua).

Aplicación de los tratamientos

En total se realizaron cinco aplicaciones de los tratamientos durante el ciclo del cultivo, la primera aplicación fue a los seis días después del trasplante, y las posteriores se efectuarán cada 14 días.

Las dosis de las algas marinas fueron de 1.5 mL L⁻¹ en la primera aplicación, 2.0 mL L⁻¹ en la segunda aplicación y en las tres últimas aplicaciones la dosis fue de 3 mL L⁻¹. En el caso del ácido acetilsalicílico se suministró a la dosis de 0.180 g L⁻¹ (dosis con la que se ha tenido respuesta positivos de acuerdo con estudios previos) (Cuadro 3.5). La aplicación se realizó por la mañana con atomizadores de 1 L⁻¹ de capacidad hasta punto de goteo, en todas las aplicaciones se adicionó el adherente Inex-A a la dosis de 1 mL L⁻¹.

Se prepararon ocho soluciones, una por cada tratamiento, utilizando una balanza analítica de precisión para el peso del ácido acetilsalicílico y tres jeringas para la medición de cada alga marina utilizada (Figura 3.11).

Cuadro 3.5. Aplicaciones de los tratamientos en estudio.

No. de aplicaciones	Días después del trasplante	Dosis	
		Algas marinas (mL L ⁻¹)	Ácido acetilsalicílico (g L ⁻¹)
1	6	1.5	0.18
2	20	2	0.18
3	34	3	0.18
4	48	3	0.18
5	62	3	0.18

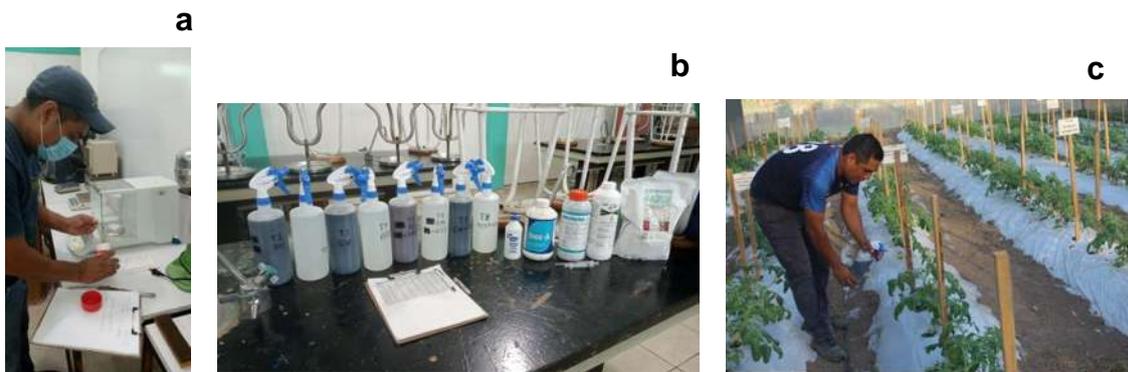
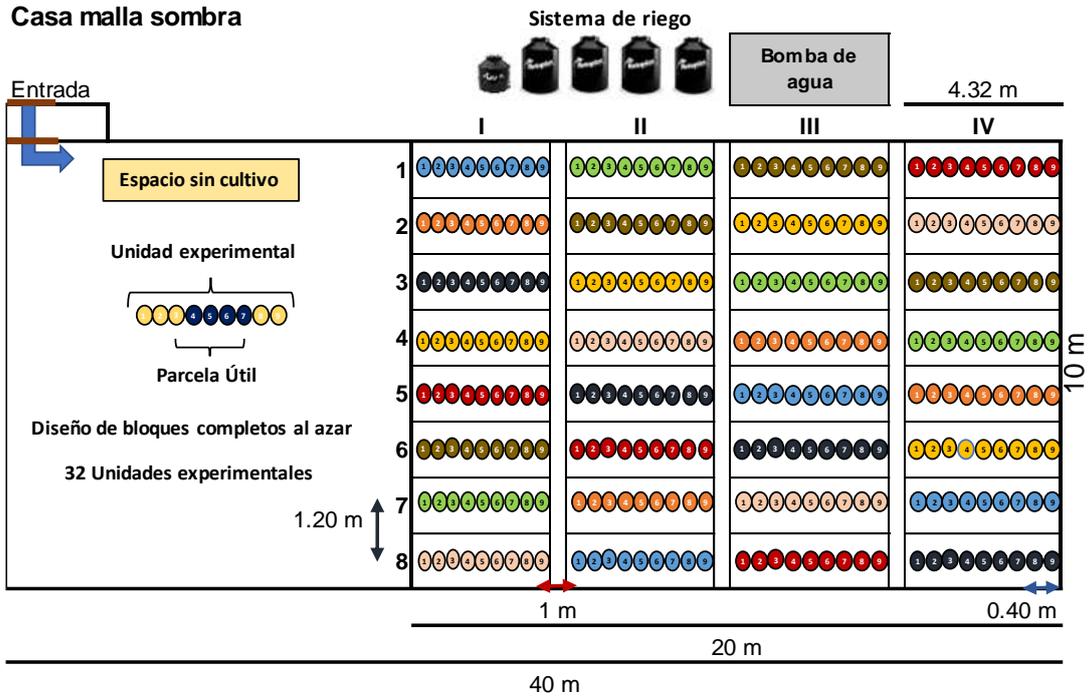


Figura 3.11. Aplicación de tratamientos. **a**, pesaje del compuesto ácido acetil salicílico; **b**, preparación de los tratamientos; **c**, aplicación en campo los tratamientos.

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado consistió en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, considerando el número de tratamientos y repeticiones que generaron 32 unidades experimentales. Cada unidad experimental correspondió a un surco de 4.32 m de longitud y la parcela útil se integró por cuatro plantas ubicadas en la parte central de cada unidad experimental (Figura 3.12).



NO.	Tratamientos	No. de plantas	
		Unidad experimental	Parcela útil
T1	 <i>Ascophyllum nodosum</i> (AN)	9	4
T2	 <i>Ecklonia máxima</i> (EM)	9	4
T3	 <i>Sargassum vulgare</i> (SV)	9	4
T4	 Ácido acetil salicílico (AAS)	9	4
T5	 (AN)+ (AAS)	9	4
T6	 (EM) + (AAS)	9	4
T7	 (SV) + (AAS)	9	4
T8	 Testigo (Agua)	9	4



UMICH-FCA MIAP 2023

Elaboró:
Edgar Nava Alejo

Casa malla sombra

288 Plantas

Fecha: 09-03-2023

Figura 3.12. Distribución de los tratamientos dentro de la casa malla sombra.

Variabes de respuesta

Se evaluaron las siguientes variables:

1) Morfológicas

En las cuatro plantas de la parcela útil de cada unidad experimental se realizaron cinco registros de las variables de respuesta a intervalos de 14 días, a partir de los seis días después del trasplante (DDT) hasta los 66 DDT.

Altura de la planta: Se utilizó una cinta métrica de 5 m de longitud, la medida fue desde el suelo hasta el meristemo apical de la planta, la unidad de medida registrada fue en m.

Diámetro del tallo: Se realizó la medida con un vernier a 2 cm sobre la base del tallo principal, la unidad de medida registrada fue en cm.

Número de hojas: De manera visual se realizó el conteo de las hojas bien diferenciadas de cada planta de la parcela útil.

2) Clorofila de las hojas

Para la determinación de la clorofila se utilizó el método espectrofotométrico, que consistió en la obtención de cinco hojas de la parte intermedia de la planta de la parcela útil de cada unidad experimental. Se lavaron y fueron congelados en un ultra congelador Marca Haier, modelo DW-86W100 a $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$, después se maceraron y se tomó 1 g de cada muestra, para posteriormente dejarse reposar en una solución de acetona de 10 mL al 80 % por 48 horas. Posteriormente se centrifugaron y finalmente se midieron en un espectrofotómetro a la longitud de 645 y 663 nm. Se utilizó una muestra de acetona al 80 % como blanco (Figura 3.13).

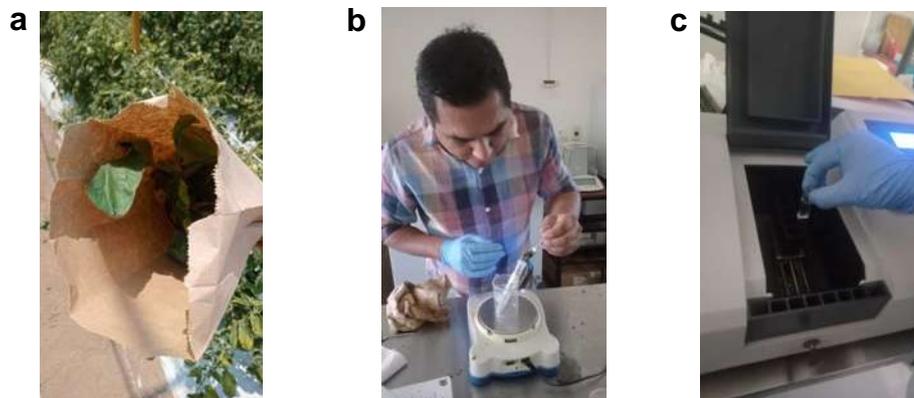


Figura 3.13. Medición de la clorofila de las hojas. **a**, muestreo de las hojas; **b**, hojas maceradas en la solución de acetona al 80 %; **c**, muestras en el espectrofotómetro.

El contenido de clorofila se calculó mediante las ecuaciones descritas por Arnon (1949), usando los coeficientes de absorción específicos dados por Mackinney, las cuales se presentan a continuación (Ruiz-Santiago *et al.*, 2019):

$$\text{Clorofila A } (\mu\text{g mL}^{-1}) = (12.7 \times \text{Abs } 663) - (2.69 \times \text{Abs } 645)$$

$$\text{Clorofila B } (\mu\text{g mL}^{-1}) = (22.9 \times \text{Abs } 645) - (4.68 \times \text{Abs } 663)$$

$$\text{Clorofila Total } (\mu\text{g mL}^{-1}) = (20.2 \times \text{Abs } 645) + (8.02 \times \text{Abs } 663)$$

3) Rendimiento

Diámetro del fruto (ecuatorial y polar): Para la medición de los diámetros de los frutos en cm, se utilizó un vernier metálico y se tomaron registros de los frutos recolectados de la parcela útil de cada unidad experimental. La medida ecuatorial se realizó en la mitad del fruto y para la medición polar se tomó en cuenta lo largo de los frutos cosechados (Figura 3.14).

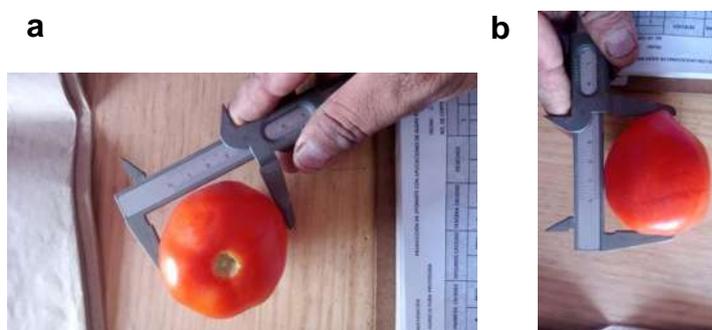


Figura 3.14. Medición de los diámetros de los frutos. **a**, diámetro ecuatorial; **b**, diámetro polar.

Número de frutos totales: Se realizó el conteo de los frutos acumulados de todos los cortes cosechados de las plantas de cada unidad experimental (Figura 3.15).

Peso de frutos totales: Se pesaron los frutos recolectados de cada unidad experimental en una báscula digital con capacidad para 5 kg (Figura 3.15).



Figura 3.15. Rendimientos de los frutos. **a**, conteo de los jitomates; **b**, pesaje de los frutos.

4) Calidad del fruto

Sólidos solubles: para el registro de los sólidos solubles se hizo un muestreo de un fruto de jitomate por parcela útil de cada unidad experimental y el procedimiento consistió en cortar transversalmente los frutos y del jugo obtenido se colocó una gota en el lente del refractómetro y los resultados se registraron en °Brix (Figura 3.16).

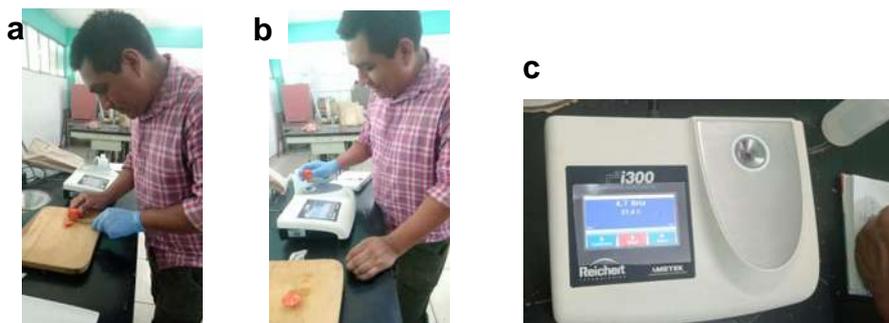


Figura 3.16. Medición de los sólidos solubles. **a**, corte transversal de los frutos; **b**, goteo de jugo de jitomate al refractómetro; **c**, registro de resultados en °Brix.

Licopeno: Para la determinación de licopeno se utilizó el método descrito por Fernández *et al.* (2007), que consiste en tomar un fruto de tomate en madurez de consumo, derivados de las plantas de la parcela útil de cada unidad experimental. Se cortaron los frutos en rodajas muy delgadas para posteriormente desecarse por 24 horas en una estufa a 60 °C, pasando ese tiempo de secado se maceró y en un tubo de ensayo se tomó 1 g de fruto y se

le agrego 10 mL de hexano, se dejó reposar por 24 horas más, para finalmente centrifugarse y tomarse 3 μL en una celda de Cuarzo y finalmente se procedió a tomar las lecturas correspondientes en un espectrofotómetro con absorbancia de 450 nm (Figura 3.17).

Para la determinación de la concentración de licopeno se consideró la tabla de calibración propuesta por Fernández *et al.* (2007) (Cuadro 3.6).

Cuadro 3.6. Absorbancia a diferentes concentraciones de licopeno (patrón).

Concentración (ppm $\pm 5 \cdot 10^{-5}$)	Absorbancia (Au $\pm 5 \cdot 10^{-5}$)
1	0.12688
2	0.46976
3	0.63454
4	0.86713



Figura 3.17. Medición del licopeno de los frutos. **a**, corte en rodajas; **b**, secado; **c**, maceración de los cortes secos; **d**, centrifugado de las muestras; **e**, lecturas de las muestras en un espectrofotómetro.

Firmeza del fruto: Con la ayuda de un penetrómetro análogo modelo GY-3 marca Vetus Instruments, se realizó la medición de la dureza de los frutos, que consistió en determinar la fuerza máxima necesaria para penetrar una punta de acero inoxidable de 8 mm. Para la determinación se utilizó un fruto elegido al azar de la parcela útil de cada unidad experimental. Se procuró que los frutos

utilizados para las determinaciones presentan similar grado de madurez (Figura 3.18).

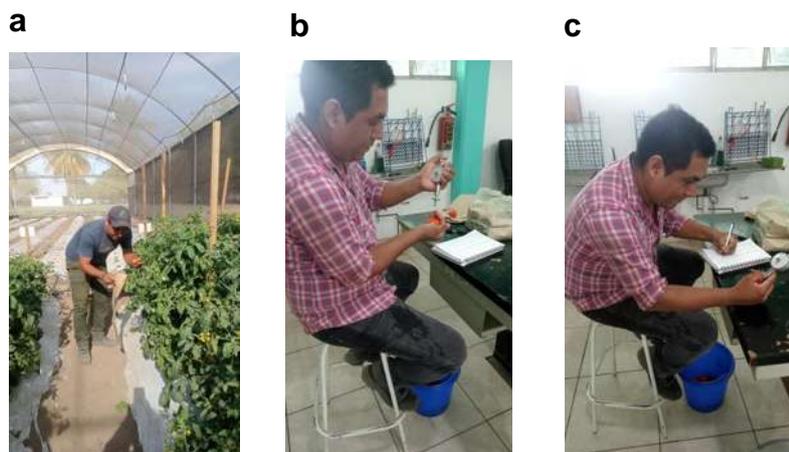


Figura 3.18. Determinación de la firmeza de los frutos de jitomates. **a**, selección de los frutos a muestrear; **b**, penetración de los frutos; **c**, registro de resultados en kg cm^{-2} .

5) Biomasa de la planta y por órgano

Peso seco de la planta (tallo y hojas): al finalizar con las cosechas de los frutos de jitomates, se realizó la determinación de la biomasa de las plantas, que consistió en la elección de una planta al azar por parcela útil y por cada unidad experimental, para posteriormente realizar un muestro destructivo, separando la planta por órganos (tallo y hojas) y finalmente se colocó en bolsas de papel, las cuales fueron llevados a una estufa de circulación de aire forzado por 72 h continuas a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta peso constante (Figura 3.19).



Figura 3.19. Peso seco de la planta de jitomate. **a**, selección de las plantas a muestrear; **b**, pesaje en seco por órgano de la planta (hojas y tallo); **c**, registro de resultados en kg.

Transcurrido el tiempo previsto y determinando visualmente que no se tenga humedad en la planta, se determinó el peso en seco en una báscula digital con capacidad de 5 kg. La unidad de medida fue en kg.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las variables de respuesta de cada tratamiento se sometieron a un análisis de varianza y prueba de Tukey al 5 % de probabilidad de error con el paquete estadístico SAS versión 9.4 (SAS, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el desarrollo del cultivo de jitomate, las plantas presentaron similares tiempos a inicios de floración, de fructificación, de cosecha y fin de cosecha (22, 48, 58, 116 ddt, respectivamente) con cualquier tratamiento. Durante el ciclo del cultivo se registraron las temperaturas máximas, mínimas y la evaporación del ambiente (Figura 4.1).

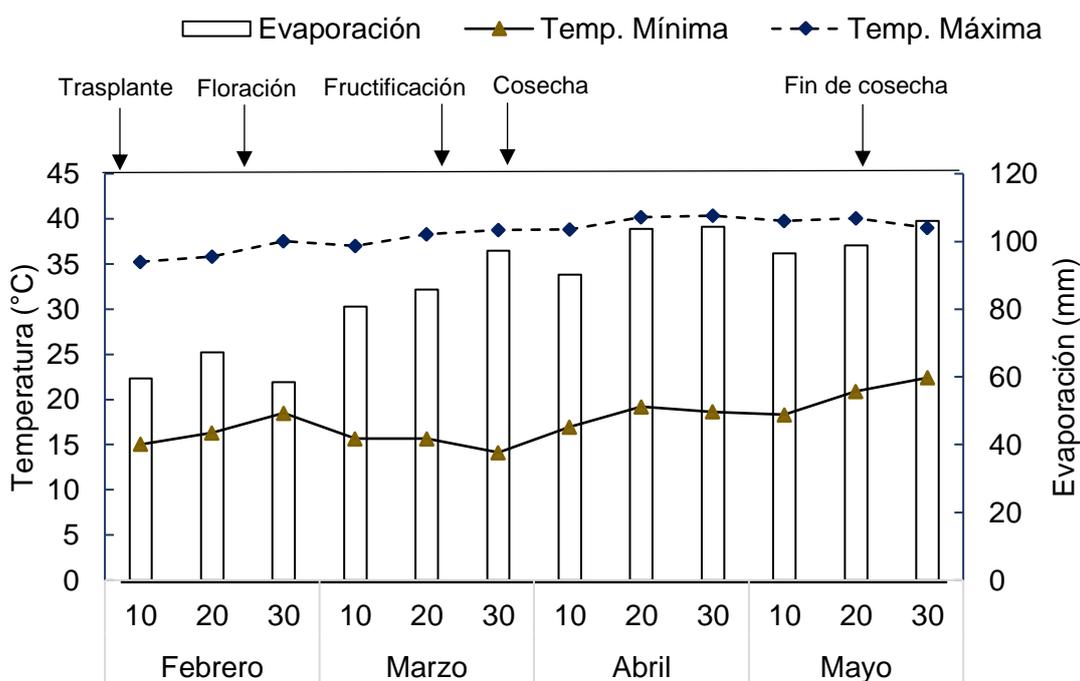


Figura 4.1. Temperatura máxima, temperatura mínima (media decenal) y evaporación (promedio decenal) ocurridas durante el ciclo del cultivo de jitomate.

De acuerdo con los registros realizados del clima, se observó que en los meses de abril a mayo se presentaron las temperaturas más altas, que oscilaron de 38.8 a 40.4 °C, 14.46 % superiores respecto al inicio del ciclo del cultivo (trasplante). Por su parte, en los meses de febrero y marzo se presentaron temperaturas mínimas entre 14.1 a 16.3 °C, que se incrementaron 27.6 % en el mes de abril en la fase de cosecha del cultivo.

Wahid *et al.* (2007), indican que la temperatura promedio óptima para este cultivo es de 21 a 24 °C, de modo que, temperaturas diurnas superiores a 32 °C y temperaturas nocturnas mayores de 21 °C disminuyen la producción de

jitomate. Por lo que, en el presente estudio, las condiciones ambientales pudieron limitar el potencial productivo del cultivo.

Al respecto, Sandoval (2008) expresa que para el jitomate la temperatura puede variar entre 15 °C durante la noche y 30 °C en el día. Cuando la temperatura supera esos rangos se suscitan disminuciones en el rendimiento potencial del cultivo, debido al secado de polen; mientras que, si la temperatura disminuye se pone duro el polen y no logra formar los frutos.

La evaporación del ambiente registró el mayor valor en los días del 20 al 30 de abril, con 104.37 mm, que aumentó 75.2 % respecto al inicio del cultivo (59.57 mm). Con este incremento de la evaporación del ambiente se suministraron los riegos hídricos suficientes para abastecer el cultivo durante los días más críticos.

VARIABLES MORFOLÓGICAS

Altura de la planta

Los datos medios obtenidos de la altura de la planta (cm) de jitomate se presentan en el Cuadro 4.1. El análisis de varianza (ANDEVA) y la prueba de probabilidad de comparación de medias de Tukey determinaron que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0.05$) en la altura de las plantas por efecto de los tratamientos a base de algas marinas y ácido acetilsalicílico (Cuadro 4.1).

Los resultados obtenidos con respecto a la altura de la planta tienen un comportamiento diferente con lo reportado por Shinwari *et al.* (2018), en las plantas de jitomate variedad rio grande trasplantadas en suelo bajo condiciones de invernadero con temperaturas promedio de 32 °C. Con aplicaciones foliares de ácido acetilsalicílico obtuvo respuestas favorables en la altura de la planta con 652.9 m con dosis de 1.50 mM en comparación con el tratamiento testigo que tuvo la menor altura que fue de 586.3 m.

De modo similar Gorni *et al.* (2021), bajo condiciones de invernadero en el cultivo de jitomate determinado variedad santa clara, con aspersiones foliares

de ácido salicílico (AS) a dosis de 1.0 mM (138.121 g mol⁻¹) indicaron efectos significativos en la altura de la planta respecto al tratamiento testigo, con 2.8 % de incremento en la altura de la planta respecto a las plantas del control.

Cuadro 4.1. Altura de la planta de jitomate durante el ciclo del cultivo con aplicaciones de algas marinas y ácido acetilsalicílico, bajo malla sombra en Apatzingán, Mich.

Tratamiento	Días después del trasplante (m)				
	6	21	36	51	66
AN	0.183±0.01 a [¶]	0.435±0.07 a	0.785±0.11 a	0.965±0.06 a	1.058±0.09 a
EM	0.183±0.02 a	0.440±0.03 a	0.770±0.10 a	0.978±0.06 a	1.040±0.06 a
SV	0.170±0.02 a	0.400±0.05 a	0.735±0.09 a	0.938±0.09 a	1.035±0.13 a
AAS	0.180±0.02 a	0.425±0.10 a	0.738±0.10 a	0.935±0.13 a	0.990±0.14 a
AN+AAS	0.175±0.01 a	0.460±0.02 a	0.835±0.01 a	0.995±0.07 a	1.115±0.07 a
EM+AAS	0.180±0.01 a	0.430±0.06 a	0.788±0.08 a	0.970±0.05 a	1.023±0.08 a
SV+AAS	0.178±0.02 a	0.468±0.02 a	0.795±0.05 a	0.978±0.10 a	1.035±0.11 a
Testigo	0.183±0.01 a	0.452±0.06 a	0.795±0.07 a	0.953±0.03 a	1.025±0.07 a
Media general	0.186	0.439	0.78	0.964	1.04
Pr > F	NS	NS	NS	NS	NS
DMSH _{0.05}	0.037	0.138	0.2	0.188	0.24
C. V. (%)	8.82	13.295	10.8	8.202	9.617

[¶]= medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, p≤ 0.05). NS = no significativo (p≥ 0.05); DMSH_{0.05}= diferencia mínima significativa honesta. AN= *Ascophyllum nodosum*, EM= *Ecklonia maxima*, SV= *Sargasum vulgare*, AAS = Ácido acetilsalicílico.

Shinwari *et al.* (2019) indican que el ácido salicílico es importante para la síntesis de auxina, que se producen en el tejido meristemático de la planta; hormona que es responsable del crecimiento de las plantas, por lo tanto, la dosis apropiada de AS aplicada a la planta de forma foliar puede incrementar la altura.

Por otra parte Ali *et al.* (2019a), realizaron aplicaciones foliares del extracto del alga marina *A. nodosum* en plantas de jitomate y de pimiento dulce (*Capsicum annuum*) establecidas en condiciones de invernadero reportaron un incrementó en la altura de la planta en 47.9 y 72.5 % respectivamente, en comparación con las plantas el control (agua). Resultados que difieren a lo obtenido en el

presente estudio y que se podrían atribuir a diferencias en condiciones ambientales en las que se desarrollaron los cultivos.

Diámetro del tallo

El diámetro del tallo de las plantas de jitomate presentó diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$) a los 6 DDT y fue el suministro de ácido acetil salicílico el tratamiento que generó el mayor grosor (0.37 mm). Sin embargo, posterior a los 21 DDT, las plantas de todos los tratamientos incluido el testigo, registraron similares grosores del tallo (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.2. Diámetro del tallo de la planta de jitomate durante el ciclo del cultivo con aplicaciones de algas marinas y ácido acetilsalicílico, bajo malla sombra en Apatzingán, Mich.

Tratamiento	Días después del trasplante (cm)				
	6	21	36	51	66
AN	0.31±0.01 ab [¶]	0.65±0.15 a	1.02±0.31 a	1.15±0.31 a	1.16±0.32 a
EM	0.27±0.06 b	0.65±0.09 a	0.97±0.07 a	1.13±0.09 a	1.15±0.11 a
SV	0.30±0.00 ab	0.61±0.11 a	0.88±0.16 a	1.03±0.19 a	1.03±0.19 a
AAS	0.37±0.06 a	0.64±0.16 a	0.90±0.22 a	0.98±0.23 a	1.00±0.25 a
AN+AAS	0.27±0.03 b	0.68±0.07 a	1.03±0.08 a	1.20±0.09 a	1.20±0.09 a
EM+AAS	0.32±0.03 ab	0.69±0.16 a	0.94±0.23 a	1.07±0.26 a	1.08±0.27 a
SV+AAS	0.27±0.03 b	0.68±0.02 a	1.00±0.07 a	1.15±0.02 a	1.16±0.02 a
Testigo	0.31±0.01 ab	0.70±0.14 a	0.96±0.09 a	1.12±0.11 a	1.12±0.11 a
Media general	0.3	0.66	0.96	1.10	1.11
Pr > F	**	NS	NS	NS	NS
DMSH _{0.05}	0.09	0.30	0.44	0.47	0.49
C. V. (%)	12.16	19.21	19.22	17.90	18.52

[¶] = medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$). ** $p \leq 0.05$; NS = no significativo ($p \geq 0.05$); DMSH_{0.05}= diferencia mínima significativa honesta. AN= *Ascophyllum nodosum*, EM= *Ecklonia maxima*, SV= *Sargasum vulgare*, AAS= ácido acetilsalicílico.

Es importante señalar que de los 6 a los 21 días después del trasplante (DDT) el diámetro aumentó en promedio 50 % independientemente del tratamiento suministrado. De los 21 a los 36 DDT se incrementó en 31 %, de los 36 a los

51 DDT aumentó 12 % y finalmente, de los 51 a los 66 DDT el diámetro solo sumó 1 % (Cuadro 4.2).

Los resultados obtenidos del diámetro del tallo en plantas del jitomate concuerdan con Barroso *et al.* (2022), quienes en plantas de jitomate aplicaron de manera exógena ácido acetilsalicílico a dosis de 0, 5, 10, 15, 20 y 25 mmol L⁻¹. Dichos tratamientos no provocaron cambios estadísticos significativos en el diámetro del tallo. Por otra parte, Silva *et al.* (2022), encontraron resultados significativos con aplicaciones foliares de ácido salicílico a dosis de 1.0 mM en el cultivo de tomate cherry, con incrementos de 7.44 % en el diámetro del tallo respecto a las plantas testigo sin aplicación.

Esto puede explicarse por el hecho de que el ácido salicílico impide el crecimiento de los vegetales a través de la regulación de biosíntesis de lignina, lo que resulta en una rigidez en la pared celular secundaria y, en consecuencia, evita que la elongación celular, aunque la respuesta varía entre especies e incluso entre variedades de la misma especie (Gallego-Giraldo *et al.*, 2011).

Número de hojas

Los resultados del análisis estadístico en función de la aplicación de algas marinas y ácido acetilsalicílico indican que no se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0.05$) en el número de hojas de las plantas de jitomate (Cuadro 4.3).

La falta de respuesta de la aplicación de algas marinas y ácido acetilsalicílico en la variable foliar de la planta difiere con lo encontrado por Ali *et al.* (2019a), quienes jitomate realizaron aplicaciones foliares de *A. nodosum* y registraron incrementos significativos en el número de hojas. Estas diferencias se pueden atribuir a la mayor dosis utilizada por los autores en comentario.

Por su parte, Gorni *et al.* (2021) en jitomate de crecimiento determinado cultivado bajo condiciones de agricultura protegidas, realizaron aplicaciones foliares con ácido salicílico a la dosis de 1.0 mM. Encontraron incrementos significativos en el número de hojas por planta.

Cuadro 4.3. Número de hojas de la planta de jitomate durante el ciclo del cultivo con aplicaciones foliares de algas marinas y ácido acetilsalicílico, bajo malla sombra en Apatzingán, Mich.

Tratamiento	Días después del trasplante				
	6	21	36	51	66
AN	4.06±0.85 a [¶]	9.25±2.67 a	26.00±11.23 a	42.75±19.85 a	48.75±19.85 a
EM	4.19±0.43 a	9.94±1.88 a	23.25±2.92 a	37.44±11.10 a	43.44±11.10 a
SV	3.63±0.48 a	8.06±2.54 a	19.63±8.86 a	32.81±13.52 a	38.81±13.52 a
AAS	3.94±1.20 a	8.38±3.71 a	20.44±11.93 a	32.50±14.08 a	38.50±14.08 a
AN+AAS	4.25±0.79 a	9.63±1.01 a	25.06±2.67 a	47.31±3.93 a	53.31±3.93 a
EM+AAS	3.81±0.85 a	8.00±1.77 a	21.44±8.41 a	36.69±15.02 a	42.69±15.02 a
SV+AAS	4.31±0.31 a	9.69±0.63 a	26.63±5.10 a	47.75±5.96 a	53.75±5.96 a
Testigo	4.38±1.03 a	10.00±2.84 a	25.13±5.99 a	43.00±11.37 a	49.00±11.37 a
Media general	4.07	9.12	23.45	40.03	46.03
Pr > F	NS	NS	NS	NS	NS
DMS _{H0.05}	1.96	5.77	19.36	31.88	31.88
C. V. (%)	20.27	26.70	34.82	33.57	29.20

[¶] = medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$). NS = no significativo ($p \geq 0.05$); DMS_{H0.05} = diferencia mínima significativa honesta. AN= *Ascophyllum nodosum*, EM= *Ecklonia maxima*, SV= *Sargasum vulgare*, AAS= Ácido acetilsalicílico.

Evidentemente son resultados diferentes a los obtenidos en la presente investigación, lo que puede atribuirse a las diferencias en condiciones ambientales que se presentaron en cada cultivo. En presente estudio se presentaron temperaturas de hasta 40 °C, lo que pudo limitar el efecto de los tratamientos.

Clorofila de las hojas

De acuerdo con el análisis de varianza y la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad del error ($p \leq 0.05$), el contenido de clorofilas mostró cambios estadísticos altamente significativos ($p \leq 0.01$) en el contenido de clorofila en las hojas de jitomate variedad Primus max (Figura 4.2).

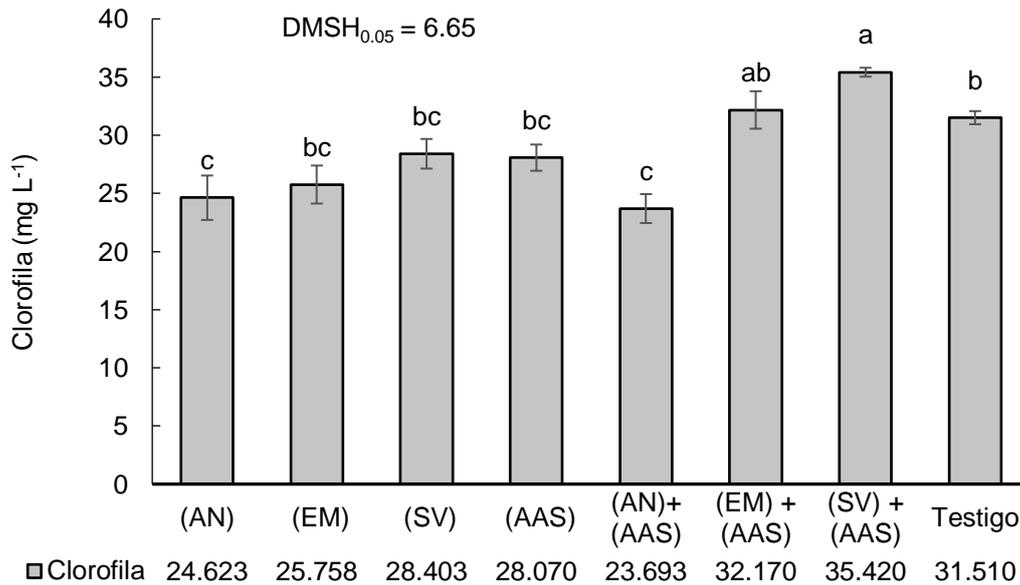


Figura 4.2. Clorofila total de las hojas de jitomate con aplicaciones de algas marinas y ácido acetilsalicílico. $DMSH_{0.05}$ = diferencia mínima significativa honesta al 5 % de probabilidad del error. AN= *Ascophyllum nodosum*, EM= *Ecklonia maxima*, SV= *Sargasum vulgare*, AAS= Ácido acetilsalicílico.

Las hojas de las plantas que presentaron el mayor contenido de clorofila fueron a las que se suministró el extracto de *Sargasum vulgare* en combinación con ácido acetilsalicílico, al contener 35.4 mg L⁻¹, mientras que las plantas asperjadas únicamente con *A. nodosum* y en combinación con ácido acetilsalicílico mostraron los menores contenidos, que incluso fueron interiores a los contenidos en hojas de las plantas del control con aplicación, con 24.6 y 23.7 mg L⁻¹, respectivamente (Figura 4.2).

La falta de respuesta en el contenido de clorofila en el presente estudio difiere con los reportado por Subramaniyan *et al.* (2023), quienes registraron incrementos en el contenido de clorofilas en jitomate hidropónico bajo condiciones de invernadero con aplicación foliar de extractos del alga marina, *A. nodosum* en comparación con el testigo. Así mismo, Ali *et al.* (2019a), reportan respuestas positivas en la coloración de las hojas con aplicaciones foliares del alga marina *A. nodosum*, resultados contrastantes con lo encontrado en la presente investigación, en donde encontramos menor contenido de clorofilas con este extracto de *A. nodosum* (Figura 4.2).

A pesar de no tener mejora en el contenido de clorofilas con la aplicación individual de ácido acetilsalicílico, sin embargo, al aplicarse en combinación con los extractos de *E. maxima* y *S. vulgare* aumentó el contenido de manera significativa. Similar al incremento encontrado por Shinwari *et al.* (2018) en jitomate bajo condiciones protegidas con aplicaciones foliares de ácido acetilsalicílico (0.120 mM).

Así mismo, Gorni *et al.* (2021), en el cultivo de jitomate determinado con aspersiones foliares de ácido salicílico a dosis de 1.0 mM registraron el aumento en clorofila total con contenidos de 30.68 mg mL⁻¹.

Rendimiento

Diámetro polar y ecuatorial de los frutos

El diámetro polar y ecuatorial de los frutos no presentaron diferencias estadísticas significativas a causa de la aplicación foliar de ácido acetilsalicílico y algas marinas (Cuadro 4.4).

Los frutos mostraron diámetros polares entre 4.88 a 5.20 cm y los diámetros ecuatoriales fueron de 4.08 a 4.26 cm (Cuadro 4.4).

Estos resultados concuerdan con Shahriari *at al.* (2019), quienes realizaron aspersiones foliares de un extracto a base de *A. nodosum* a las dosis de 0, 2, 3 mL en el cultivo de jitomate bajo condiciones de invernadero. Encontraron que no se presentaron efectos significativos en el diámetro y longitud de los frutos.

Mientras que Sariñana *et al.* (2020), en condiciones de protegidas de invernadero en plantas de jitomate hidropónico con aplicaciones foliares de ácido salicílico a la dosis de 0.025, incrementaron el diámetro polar en un 18.7 % (6.7 cm) respecto al testigo (5.6 cm), mientras que el diámetro ecuatorial del fruto aumentó en 13.3 %, respecto al testigo. Estos resultados difieren con los encontrados en nuestro estudio, posiblemente debido a las distintas dosis empleadas entre ambos experimentos.

Número de frutos totales

El número de frutos totales mostró diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) a causa de los tratamientos (Cuadro 4.4).

Cuadro 4.4. Componentes del rendimiento del cultivo de jitomate en función de aplicaciones de algas marinas y ácido acetilsalicílico, bajo malla sombra en Apatzingán, Mich.

Tratamiento	Diámetro		Número de frutos totales (m ²)	Peso promedio de frutos (g)
	Polar (cm)	Ecuatorial (cm)		
AN	5.20±0.39 a [¶]	4.23±0.20 a	91.82±20.43 ab	27.79±5.01 a
EM	5.14±0.21 a	4.20±0.07 a	109.72±6.00 a	24.57±1.43 a
SV	4.92±0.63 a	4.08±0.40 a	83.87±24.45 b	27.46±5.00 a
AAS	5.09±0.50 a	4.14±0.25 a	93.44±17.72 ab	27.85±4.23 a
AN+AAS	5.08±0.32 a	4.17±0.19 a	104.75±27.61 a	26.31±1.99 a
EM+AAS	4.88±0.29 a	4.11±0.15 a	104.1±6.25 a	26.82±3.18 a
SV+AAS	5.12±0.39 a	4.16±0.29 a	106.89±12.44 a	25.74±3.70 a
Testigo	5.22±0.20 a	4.26±0.15 a	96.53±23.61 ab	30.19±3.04 a
Media general	5.08	4.17	98.89	27.09
Pr > F	NS	NS	*	NS
DMS _{H0.05}	0.78	0.53	41.46	8.26
C. V. (%)	6.50	5.37	17.68	12.86

[¶] = medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$). * $p \leq 0.05$; NS = no significativo ($p \geq 0.05$); DMS_{H0.05} = diferencia mínima significativa honesta. AN = *Ascophyllum nodosum*, EM = *Ecklonia maxima*, SV = *Sargasum vulgare*, AAS = Ácido acetilsalicílico.

Las plantas con el suministro del extracto de *E. maxima* produjeron la mayor cantidad de frutos con 109.72 frutos/m², seguido de las plantas con suministro de *S. vulgare* en combinación con ácido acetilsalicílico, que registraron 104.73 frutos/m². Mientras que las plantas con aplicación foliar de *S. vulgare* presentaron la menor cantidad de frutos totales por m² con 83.87 (Cuadro 4.4).

Respuesta similar a la del presente estudio encontraron Silva *et al.* (2022), quienes con aplicaciones foliares de ácido salicílico a plantas de jitomate cherry, a la dosis de 1.0 mM lograron incrementos de 41.31 % en el número de frutos respecto al testigo. Por su parte, Gorni *et al.* (2021), en plantas de

jitomate determinado cultivado bajo condiciones de agricultura protegida, realizaron aspersiones exógenas de ácido salicílico a la dosis de 1.0 mM, lo que provocó el aumento en la cantidad de frutos del 70.2 %, respecto a los frutos cosechados en las plantas del testigo (agua).

En estudios previos se ha encontrado que la aplicación foliar de ácido acetilsalicílico y ácido salicílico presenta efecto significativo en el incremento de la cantidad de fruto (Vázquez-Díaz *et al.*, 2016). Sin embargo, en el presente estudio se encontraron los mejores resultados cuando se aplicó el ácido acetilsalicílico de manera conjunta con el alga marina *S. vulgare* (Cuadro 4.4).

Peso promedio de frutos

El peso promedio de frutos por unidad experimental fue estadísticamente similar en todas las plantas con cualquiera de los tratamientos, incluido el tratamiento testigo (sin aplicación), con valores que oscilando de 24.57 g a los 30.19 g por fruto (Cuadro 4.4).

A pesar de no haber encontrado respuesta en el incremento del peso promedio de frutos en el presente estudio, en otras investigaciones han reportado aumento en el rendimiento de frutos con dosis bajas de ácido salicílico (0.025 y 0.1 mM), pero el rendimiento disminuye un 43 % cuando el SA se suministra a dosis altas (0.2 y 0.4 mM) (Vázquez-Díaz *et al.*, 2016), debido al estrés oxidativo que puede causar el AS y que la planta no es capaz de restaurar (Hayat *et al.*, 2010). Se sabe que las plantas responden al AS de diferentes maneras, pero esta respuesta depende del tipo de cultivar, condiciones ambientales y concentración de AS; en particular, el tomate es un cultivo sensible a este regulador de crecimiento (Larqué-Saavedra *et al.*, 2010).

Rendimiento de frutos

Con relación al rendimiento de frutos (kg m^{-2}), de acuerdo con el análisis de varianza, no se registraron diferencias significativas (Figura 4.3).

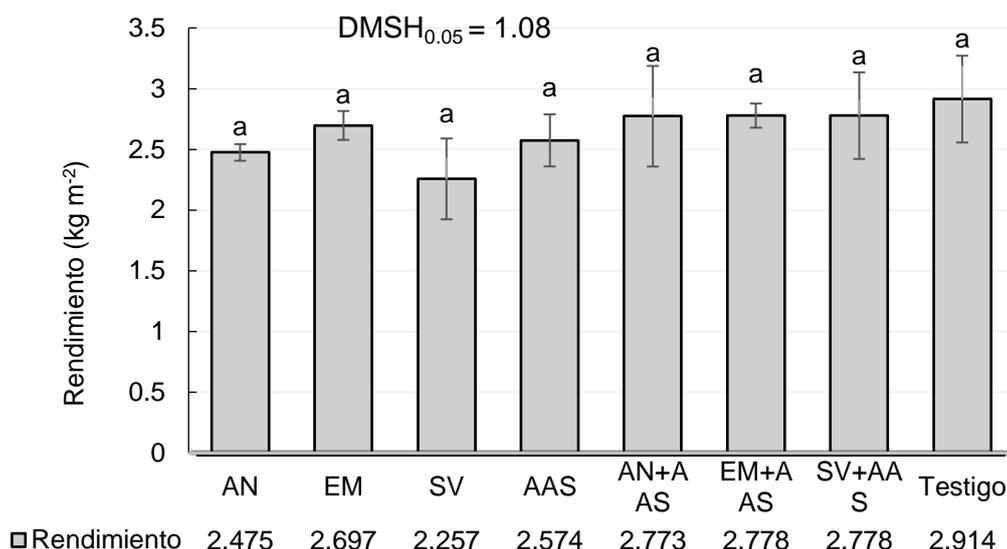


Figura 4.3. Rendimiento de frutos de jitomate con aplicaciones de algas marinas y ácido acetilsalicílico. $DMSH_{0.05}$ = diferencia mínima significativa honesta al 5 % de probabilidad del error. AN= *Ascophyllum nodosum*, EM= *Ecklonia maxima*, SV= *Sargasum vulgare*, AAS= Ácido acetilsalicílico.

Los resultados del presente estudio difieren con lo encontrado por Sariñana *et al.* (2020), quienes en plantas de jitomate hidropónico cultivadas bajo condiciones de invernadero con aplicaciones foliares de ácido salicílico a la dosis de 0.05 mM incrementaron el rendimiento en 1.72 kg m⁻² respecto al testigo. Mientras que Shinwari *et al.* (2018), con aplicaciones de ácido acetilsalicílico a dosis de 0.120 mM registraron rendimientos de frutos (3.091 kg m⁻²) significativamente superior al logrado con el testigo (2.061 kg m⁻²).

La diferencia en respuesta respecto al presente estudio podría atribuirse a las distintas dosis utilizadas entre estudios. También Ali *et al.* (2019a), encontraron respuesta positiva en el rendimiento de los frutos de jitomate y pimiento dulce con aplicaciones de foliares de *A. nodosum* a la concentración de 0.5 % con aumentos del 40 %, respecto al tratamiento testigo para ambos cultivos, lo que se relacionó con mayor número de flores y frutos por racimo en tomate y pimiento dulce.

Calidad del fruto

Sólidos solubles

Los azúcares son componentes abundantes en las frutas y representan la mayor parte de los sólidos solubles totales.

En la Figura 4.4 se presenta que la aplicación de algas marinas y ácido acetilsalicílico de forma individual y en combinación no afectaron estadísticamente el contenido de sólidos solubles en los frutos de jitomate. Así, los valores oscilaron entre 3.70 y 4.48 °Brix (Figura 4.4).

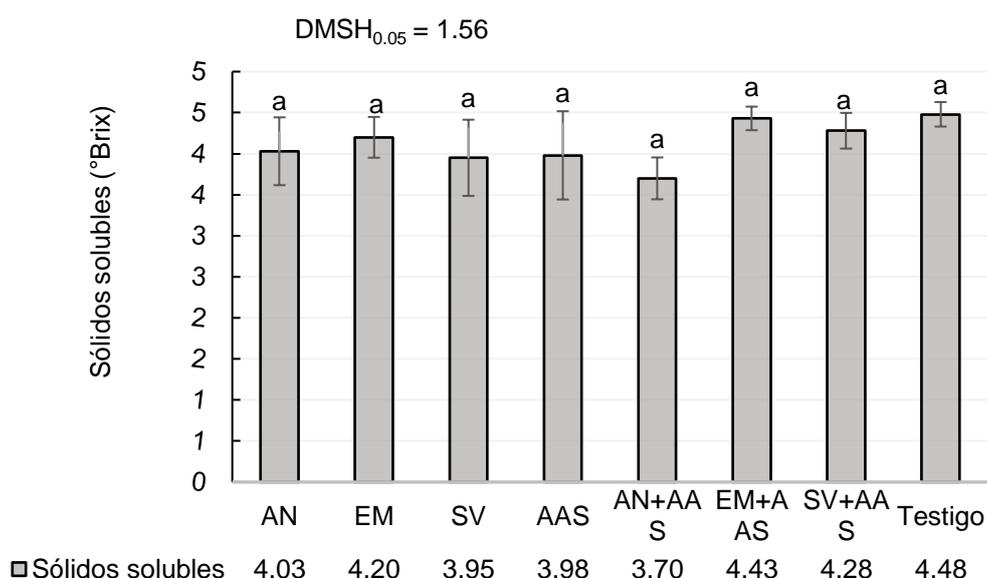


Figura 4.4. Sólidos solubles totales (SST) de los frutos de jitomate con aplicaciones de algas marinas y ácido acetilsalicílico. DMSH_{0.05}= diferencia mínima significativa honesta al 5 % de probabilidad del error. AN = *Ascophyllum nodosum*, EM = *Ecklonia maxima*, SG = *Sargasum vulgare*, AAS = Ácido acetilsalicílico.

Los resultados obtenidos en este trabajo difieren con lo reportado por Inayath *et al.* (2021), quienes realizaron aplicaciones foliares del alga marina *A. nodosum* a plantas de jitomate establecidas bajo condiciones de invernadero. Los frutos cosechados de las plantas tratadas con *A. nodosum* tuvieron los valores más altos en sólidos solubles, con 5.6 °Brix, mientras los frutos de las plantas del testigo (sin aplicación) presentaron 5.2 °Brix. De forma similar, Subramaniyan *et al.* (2023), con aplicaciones también de *A. nodosum* en condiciones de agricultura protegida determinaron aumento en el contenido de

sólidos solubles en los frutos de jitomate con 5.31 °Brix. De modo similar a lo encontrado por Ahmed *et al.* (2023), los cuales en condiciones de invernadero y con aspersiones exógenas de *A. nodosum* en el cultivo de jitomate, incrementaron en 21.3 % los °Brix de los frutos en comparación con los frutos de las plantas del testigo.

Con respecto a la aplicación del ácido acetilsalicílico Zahirul *et al.* (2018), demostraron efectos favorables en el incremento de sólidos solubles en frutos de jitomate cherry, por efecto de las aplicaciones de ácido acetilsalicílico a las dosis de 0.13, 0.25, 0.50 y 1.0 mM respecto al testigo (agua), con valores de 6.61 a 7.04 °Brix, cantidades que son mayores a las registradas en nuestro estudio con cualquier tratamiento.

Licopeno

El licopeno es el principal carotenoide de los frutos de tomate, y se considera que su ingesta puede prevenir diversas enfermedades (Ghadage *et al.*, 2019). En las plantas con el suministro de *S. vulgare* en combinación con Ácido acetilsalicílico se registraron incrementos estadísticos altamente significativos ($p \leq 0.01$) en el contenido de licopeno de los frutos de jitomate (Figura 4.5).

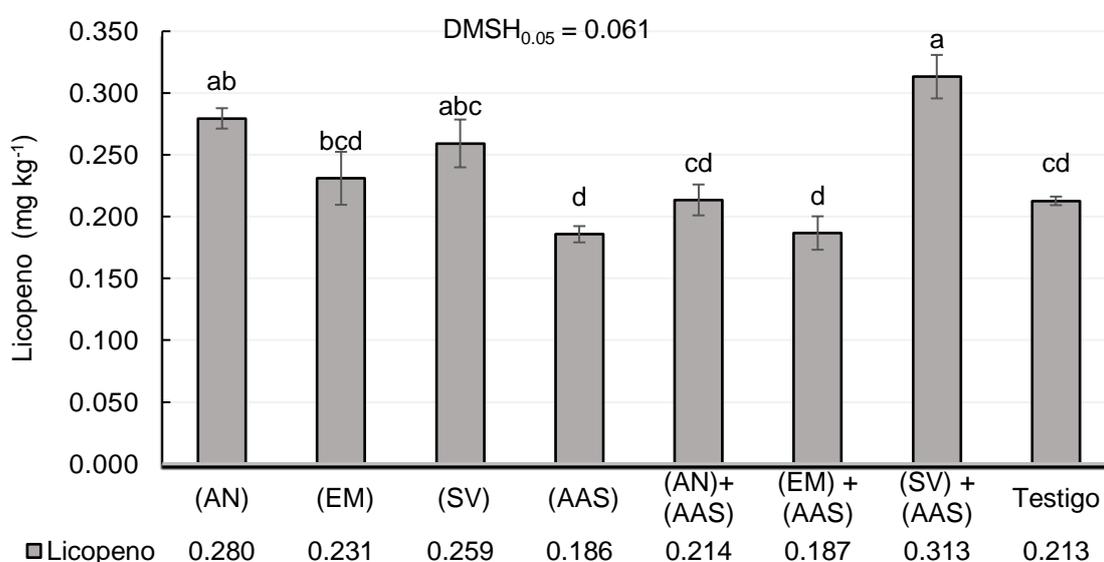


Figura 4.5. Contenido de licopeno en los frutos de jitomate con aplicaciones de algas marinas y ácido acetilsalicílico. $DMSH_{0.05}$ = diferencia mínima significativa honesta al 5 % de probabilidad del error. AN= *Ascophyllum nodosum*, EM = *Ecklonia maxima*, SV= *Sargasum vulgare*, AAS= Ácido acetilsalicílico.

El contenido de licopeno aumentó un 47.2 % con la aplicación foliar con *S. vulgare* en combinación con ácido acetilsalicílico en comparación con los frutos cosechados en las plantas del tratamiento testigo. Mientras que, con la aplicación del ácido acetilsalicílico solo y en combinación con *E. maxima* disminuyó el contenido en 12.6 % y 12.2 % respectivamente en comparación con el testigo.

En un estudio realizado por Zahirul *et al.* (2018) presentaron respuestas negativas del contenido de licopeno, respecto al testigo en los frutos de jitomate cherry con aplicaciones de ácido salicílico a dosis de 0, 0.13, 0.25, 0.50, 1.0 mM cultivado en condiciones de invernadero.

Mientras que Gorni *et al.* (2021), con aspersiones exógenas de ácido salicílico a la dosis de 1.0 mM en jitomate determinado bajo condiciones protegidas, lograron incrementar en 62.25 % la coloración de los frutos de jitomate, respecto al testigo (agua). En nuestro estudio, el ácido acetilsalicílico presentó mejoras en esta variable solo cuando se suministró de manera conjunta con el extracto de *S. vulgare*.

Firmeza del fruto

Se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) en la firmeza de los frutos de jitomate a causa de la aplicación foliar de algas marinas y ácido acetilsalicílico (Figura 4.6). Las plantas asperjadas con *A. nodosum* presentaron los frutos con la mayor firmeza, al mostrar valores de 9.4 kg cm^{-2} , mientras que los frutos de las plantas con *S. vulgare* en combinación con ácido acetilsalicílico registraron el menor grado de dureza con 7.18 kg cm^{-2} (Figura 4.6).

Respecto al uso de algas marinas, los resultados de nuestro estudio son similares a los encontrados por Ahmed *et al.* (2023), que al asperjar *A. nodosum* en el cultivo de jitomate, se incrementó en 41 % la firmeza de los frutos con respecto al testigo. Sin embargo, Zahirul *et al.* (2018), registraron respuestas similares con aplicaciones de ácido acetilsalicílico a la dosis de 0.50 mM, con frutos más firmes con respecto al testigo (agua), por lo que era de esperarse

que la combinación con alguna alga marina favorecería más la firmeza de los frutos, aunque en nuestro estudio no ocurrió así.

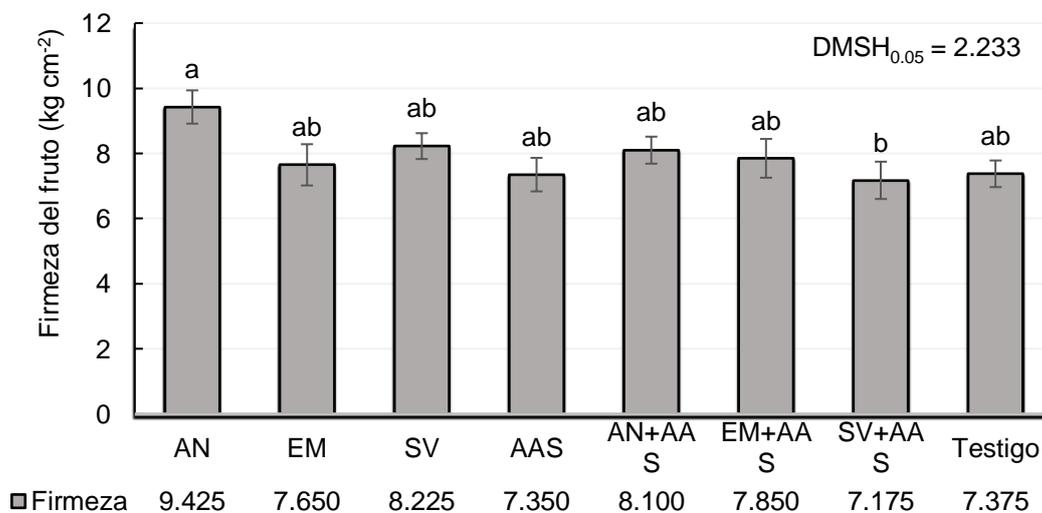


Figura 4.6. Firmeza de los frutos de jitomate con aplicaciones de algas marinas y ácido acetilsalicílico. $DMSH_{0.05}$ = diferencia mínima significativa honesta al 5% de probabilidad del error. AN= *Ascophyllum nodosum*, EM= *Ecklonia maxima*, SV= *Sargasum vulgare*, ASA= Ácido acetilsalicílico.

Materia seca

La acumulación de materia seca de los tallos y las hojas del cultivo de jitomate no se afectaron estadísticamente ($p \leq 0.05$) a causa de la aplicación de algas marinas y ácido acetilsalicílico (Cuadro 4.5).

En promedio, el peso seco de las hojas osciló entre 0.077 a 0.120 kg/planta y de 0.053 a 0.88 kg/planta el peso seco de los tallos (Cuadro 4.5).

Peso total de la planta de jitomate

Las plantas presentaron valores similares de peso seco total con cualquier tratamiento, incluido el testigo sin aplicación (Figura 4.7). El peso total por planta varió de 0.130 a 0.209 kg (Figura 4.7).

Cuadro 4.5. Peso seco de las hojas y tallos de la planta de jitomate en función de aplicaciones de algas marinas y ácido acetilsalicílico, bajo malla sombra en Apatzingán, Mich.

Tratamiento	Peso seco de hojas kg/planta	Peso seco del tallo kg/planta
AN	0.098±0.035 a [¶]	0.075±0.030 a
EM	0.084±0.030 a	0.060±0.018 a
SV	0.077±0.020 a	0.053±0.018 a
AAS	0.099±0.043 a	0.064±0.039 a
AN+AAS	0.120±0.035 a	0.088±0.030 a
EM+AAS	0.081±0.007 a	0.056±0.014 a
SV+AAS	0.099±0.007 a	0.074±0.007 a
Testigo	0.084±0.007 a	0.060±0.005 a
Media general	0.093	0.066
Pr > F	NS	NS
DMSH _{0.05}	0.066	0.057
C. V. (%)	30.120	36.274

¶ = medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$). ** $p \leq 0.05$; NS = no significativo ($p \geq 0.05$); DMSH_{0.05}= diferencia mínima significativa honesta. AN = *Ascophyllum nodosum*, EM = *Ecklonia maxima*, SV = *Sargasum vulgare*, AAS = ácido acetilsalicílico.

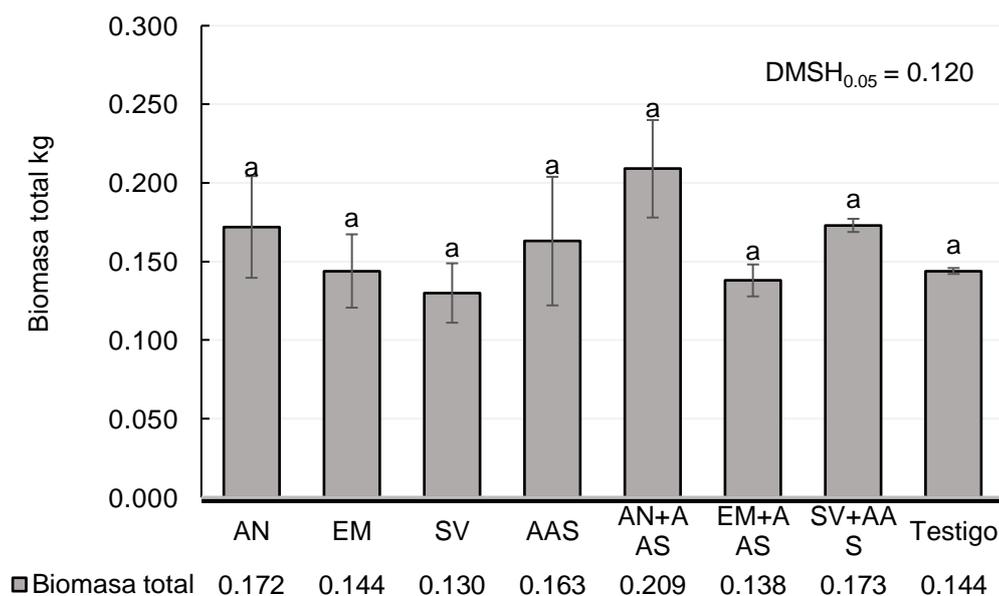


Figura 4.7. Biomasa total de la planta de jitomate con aplicaciones de algas marinas y ácido acetilsalicílico. DMSH_{0.05}= diferencia mínima significativa honesta al 5% de probabilidad del error. AN= *Ascophyllum nodosum*, EM= *Ecklonia maxima*, SV= *Sargasum vulgare*, AAS= Ácido acetilsalicílico.

En estudios previos realizados por Ali *et al.* (2019a), encontraron respuestas diferentes a las de nuestro estudio, ya que ellos al realizar aplicaciones foliares de *A. nodosum* en plantas de jitomate registraron efectos positivos en la acumulación de la biomasa seca de la planta. Por su parte Gorni *et al.* (2021), con aspersiones exógenas de ácido salicílico (1.0 mM) en condiciones protegidas de jitomate determinado, obtuvieron un 66.6% más de acumulación de materia seca total de la planta, respecto al tratamiento testigo (agua). Resultados contrastantes respecto a los encontrados en la presente investigación, posiblemente por presentar temperaturas elevadas que pudieran haber sido desfavorables para la producción de jitomate.

La aplicación de algas marinas y ácido acetilsalicílico de manera individual y en combinación, no provocaron efecto en la altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas, tampoco en el diámetro polar y ecuatorial del fruto. A pesar de que, el contenido de clorofilas en las hojas mejoró con *S. vulgare* y el ácido acetyl salicílico, y que el número de frutos totales aumentó con *E. maxima*, y con cualquier combinación de alga marina con ácido acetilsalicílico, sin embargo, el rendimiento de frutos no se modificó.

Respecto a la calidad de la producción, el contenido de licopeno aumentó en los frutos de las plantas con la aplicación de cualquiera de las tres algas marinas y con *S. vulgare* más ácido acetilsalicílico y los frutos más firmes se registraron con el suministro de *A. nodosum*. La falta de respuesta en el rendimiento de frutos pudo atribuirse a la dosis empleada de los tratamientos, que para las condiciones ambientales de producción es posible que se requieran dosis más altas. También a que las elevadas temperaturas que se presentaron durante el ciclo de producción (superiores a 40 °C).

Al respecto, Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto (2017), indican que el exceso de radiación y las altas temperaturas afectan el crecimiento y el rendimiento de los cultivos. También mencionan que los estreses múltiples causan quemaduras en hojas y frutos, senescencia y abscisión temprana de hojas, pérdida del vigor, inhibición del crecimiento del tallo y la raíz, pérdida de la viabilidad del polen, aborto de flores y frutos jóvenes, y decoloración y daños de frutos, que afectan negativamente el rendimiento de los cultivos. Además,

Ruan *et al.* (2010) y Rieu *et al.* (2017), mencionan que las altas temperaturas afectan el aborto floral y causan una pérdida del 80 % de las flores en las plantas de tomate, lo que conduce a una reducción de la producción de frutos. Por lo que se estimó que la falta de rendimientos en la presente investigación ocurrió un desbalance en el crecimiento, en la floración y aceleración en la maduración de los frutos de jitomate.

CONCLUSIONES

- Las plantas de jitomate bajo casa sombra no modificaron la altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas y biomasa seca de la planta en función de la aplicación de algas marinas y ácido acetilsalicílico. Sin embargo, el contenido de clorofilas de las hojas se incrementó con la aplicación conjunta de *Sargasum vulgare* más ácido acetilsalicílico.
- Las algas marinas y ácido acetilsalicílico solos y en combinación no afectaron estadísticamente el incremento en el contenido de sólidos solubles de los frutos de jitomate. El suministro foliar de *Sargasum vulgare* más ácido acetilsalicílico y la aplicación solo de *Ascophyllum nodosum* modificaron significativamente el incremento en el contenido de licopeno de los frutos y con este último tratamiento se produjeron frutos más firmes.
- La aplicación de *Ecklonia maxima* incrementó el número de frutos, pero ninguno de los tratamientos promovió el aumento en el rendimiento y diámetro polar y ecuatorial de los frutos.

LITERATURA CITADA

- Abdelmageed, A. H. A. and Gruda, N. 2012. Influence of heat shock pretreatment on growth and development of tomatoes under controlled heat stress conditions. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 81(1): 26-28.
- Alam, M. Z., Braun, G., Norrie, J. and Hodges, D. M. 2013. Effect of *Ascophyllum* extract application on plant growth, fruit yield and soil microbial communities of strawberry. *Canadian Journal of Plant Science*, 93(1): 23-36. <https://doi.org/10.4141/cjps2011-260>.
- Al-Wandawi, H., Abdul-Rahman, M. and Al-Shaikhly, K. 1985. Tomato processing wastes as essential raw material sources. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 33(5): 804–807.
- Ahmed, M., Ullah, H., Attia, A., Tisarum, R., Chaum, S. and Datta, A. 2023. Interactive effects of *Ascophyllum nodosum* seaweed extract and silicon on growth, fruit yield and quality and water productivity of tomato under water stress. *Silicon*, 15: 2263–2278. <https://doi.org/10.1007/s12633-022-02180-x>.
- Ali, O., Ramsubhag, A. and Jayaraman, J. 2019a. Biostimulatory activities of *Ascophyllum nodosum* extract in tomato and sweet pepper crops in a tropical environment. *PLoS ONE*. 14(5): e0216710. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216710>.
- Ali, O., Ramsubhag, A., Daniram, B. S. and Jayaraman, J. 2019b. Transcriptomic changes induced by applications of a commercial extract of *Ascophyllum nodosum* on tomato plants. *Scientific reports*, 12: 8042.
- Almeida, B. A. A., Grillo, M. K. and Ferreira, A. R. 2022. Acetylsalicylic acid (ASA) as inductor of growth and flowering in tomato. *Scientific electronic archives*, 15(5): 6-11. <https://doi.org/10.36560/15520221540>.

- Álvarez, C. E. 2018. Cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*). Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y forestal. Pag. 16-18. [En línea] http://centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Centa_Tomate%202019.pdf (Consultado el 03 de marzo del 2023).
- Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology*, 24: 1-15.
- Bandurska, H. 2013. Salicylic acid: an update on biosynthesis and action in plant response to water deficit and performance under drought. *Salicylic Acid: Plant growth and development*, 1-14.
- Banu, A. T., Ramani, P. S. and Murugan, A. 2018. Effect of seaweed coating on quality characteristics and shelf life of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Food Science and Human Wellness*, 9: 176-183.
- Baltazar, M., Correia, S., Guinan, K. J., Sujeeth, N., Bragança, R. and Gonçalves, B. 2021. Recent advances in the molecular effects of biostimulants in plants: an overview. *Biomolecules*, 11(8): 1096. <https://doi.org/10.3390/biom11081096>.
- Barnabás, B., Jäger, K. and Fehér, A. 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, cell & environment*, 31(1): 11-38. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01727.x>.
- Barroso, A. A. A., Marré, K. G., Almeida, R. F., de Silva, M. A. V., Sales, R. A., de Belmiro, S. L. and Oliveira, E. C. 2022. Acetylsalicylic acid (ASA) as inductor of growth and flowering in tomato. *Scientific Electronic Archives*, 15(5). <https://doi.org/10.36560/15520221540>.
- Bielinski, M. S., Henner A. O. O., T. P. y Salamé, D. P. D. 2018. Producción de hortalizas en ambientes protegidos: estructuras para la agricultura protegida. [En línea] https://horticulture.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk1816/files/extension_material_files/Santos_academic_paper_estructuras_para_la_agricultura_protegida.pdf (Consultado el 04 de marzo del 2023).

- Bitá, C. E., Zenoni, S., Vriezen, W. H., Mariani, C., Pezzotti, M. and Gerats, T. 2011. Temperature stress differentially modulates transcription in meiotic anthers of heat-tolerant and heat-sensitive tomato plants. *BMC Genomics*, 12(1): 1-18. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-12-384>.
- Bolaños-Benavides, M. M., Jaramillo-Noreña J. E., Roper-Barbosa, J., Peña-Holguín, A. C; Montes, M. L., Igor-León, R., Bareño-Rojas, F., Villagrán-Munar, E. A., Ramírez-Matarrita, R., Barba-Alvarado, A. A., Martínez-Mateo, C., López, G. y Yau, J. A. 2022. Innovaciones para la horticultura en ambientes protegidos en zonas cálidas: opción de intensificación sostenible de la horticultura familiar en el contexto del cambio climático en América Latina y el Caribe (ALC). Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria. [En línea] https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/Producto_5__Propuesta_de_Escalamiento.pdf (Consultado el 06 de marzo del 2023).
- Bonnemain, J. L., Chollet, J. F. and Rocher, F. 2013. Transport of salicylic acid and related compounds. In "Salicylic acid". Springer, 43-59.
- Bovy, A., Kemper, M., Schijlen, E., Pertejo, M. A. and Muir, S. 2002. High-flavonol tomatoes resulting from the heterologous expression of the maize transcription factor genes *lc* and *c1*. *Plant Cell*, 14(10): 2509-2526.
- Carmody, N., Goñi, O., Łangowski, L. and O'Connell, S. 2020. *Ascophyllum nodosum* extract biostimulant processing and its impact on enhancing heat stress tolerance during tomato fruit set. *Frontiers in Plant Science*, 11: 807.
- Castillo-Velarde, E. R. 2019. Vitamina C en la salud y en la enfermedad. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 19(4): 95-100.
- Chaves-Barrantes, N. F. y Gutiérrez-Soto, M. V. 2017. Respuestas al estrés por calor en los cultivos. II. Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1): 255-271.

- Chen, Z., Zheng, Z., Huang, J., Lai, Z. and Fan, B. 2009. Biosynthesis of salicylic acid in plants. *Plant Signaling and Behavior*, 4: 493-496.
- Chojnacka, K., Saeid, A., Witkowska, Z. and Tuhy, L. 2012. Biologically active compounds in seaweed extracts the prospects for the application. *The Open Conference Proceedings Journal*, 3: 22. <https://doi.org/10.2174/1876326X01203020020>.
- Cleland, C. F. and Ajami, A. 1974. Identification of the flower-inducing factor isolated from aphid honeydew as being salicylic acid. *Plant Physiology*, 54: 904-906.
- Comlekcioglu, N., Simsek, O., Boncuk, M. and Aka, K. Y. 2010. Genetic characterization of heat tolerant tomato (*Solanum lycopersicon*) genotypes by SRAP and RAPD markers. *Genetics and molecular research: GMR*, 9(4) 2263-2274.
- Cozzolino, E., Di-Mola, I., Ottaiano, L., El-Nakhel C., Roupael, Y. and Mori, M. 2021. Foliar application of plant-based biostimulants improve yield and upgrade qualitative characteristics of processing tomato. *Italian Journal of Agronomy*, 16: 1825. <https://doi.org/10.4081/ija.2021.1825>.
- Crouch, I. J. and Van, S. J. 1993. Effect of seaweed concentrate from *Ecklonia maxima* (Osbeck) Papenfuss on *Meloidogyne incognita* infestation on tomato. *Journal of Applied Phycology*, 5: 37-43.
- DB-City. 2023. Municipio de Apatzingán. [En línea] <https://es.db-city.com/M%C3%A9xico--Michoac%C3%A1n--Apatzing%C3%A1n> (Consultado el 14 de enero del 2023).
- Dean, J. V., Mohammed, L. A. and T. Fitzpatrick. 2005. The formation, vacuolar localization, and tonoplast transport of salicylic acid glucose conjugates in tobacco cell suspension cultures. *Planta*, 221: 287-296.
- Di Stasio, E., Van, O. M. J., Silletti, S., Raimondi, G., Dell'Aversana, E., Carillo, P. and Maggio, A. 2018. *Ascophyllum nodosum*-based algal extracts

act as enhancers of growth, fruit quality, and adaptation to stress in salinized tomato plants. *Journal of Applied Phycology*, 30: 2675-2686. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1439-9>.

Falcioni, T., Ferrio, J. P., Del Cueto, A. I., Giné, J., Achón, M. A. and Medina, V. 2013. Effect of salicylic acid treatment on tomato plant physiology and tolerance to potato virus X infection. *European Journal of Plant Pathology*, 138: 331-345.

FAOSTAT. 2023. Estadísticas mundiales de producción de tomate. [En línea] <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> (Consultado el 30 de agosto del 2023).

Fernández, C., Pitre, A., Llobregat M. J. y Rondón Y. 2007. Evaluación del Contenido de Licopeno en Pastas de Tomate Comerciales. *Información Tecnológica*. 18(3) 31-38. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642007000300005>.

Florido-Bacallao, M. y Álvarez-Gil, M. 2015. Aspectos relacionados con el estrés de calor en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales*, 36(1): 77-95.

Foolad, M. R. 2002. Tolerance to abiotic stresses. *Genetic Improvement of Solanaceous Crops*. Science Publishers. 521-590.

Frank, G., Pressman, E., Ophir, R., Althan, L., Shaked, R., Freedman, M., Shen, S. and Firon, N. 2009. Transcriptional profiling of maturing tomato (*Solanum lycopersicum* L.) microspores reveals the involvement of heat shock proteins, ROS scavengers, hormones, and sugars in the heat stress response. *Journal of Experimental Botany*, 60(13): 3891-3908. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp234>.

Gallego-Giraldo, L. 2011. Salicylic acid mediates the reduced growth of lignin own-regulated plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(51): 20814-20819. <https://doi.org/10.1073/pnas.1117873108>.

- Garcion, C. and Métraux, J. P. 2006. Salicylic acid. In Plant Hormone Signaling. Oxford: *Blackwell Publishing Ltd.*, 24: 229-255.
- Ghadage, S. R., Mane, K. A., Agrawal, R.S. and Pawar, V. N. 2019. Tomato lycopene: Potential health benefits. *Pharma Innovation Journal*, 8: 1245-1248.
- Giorno, F., Wolters, A. M., Grillo, S., Scharf, K. D., Vriezen, W. H. and Mariani, C. 2010. Developmental and heat stress-regulated expression of HsfA2 and small heat shock proteins in tomato anthers. *Journal of Experimental Botany*, 61(2): 453-462. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp316>.
- González, F. J. J. 2022. El uso de algas marinas como bioestimulantes. Sección de Biología. Universidad de La Laguna. Tesis. [En línea] <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/29095/EI%20uso%20de%20algas%20marinas%20como%20bioestimulantes.pdf?sequence=1> (Consultado el 02 de marzo del 2023).
- GOOGLE MAPS. 2023. Apatzingán, Michoacán. [En línea] <https://www.google.com.mx/maps/@19.090251,-102.3578535,2963m/data=!3m1!1e3> (Consultado el 14 de enero del 2023).
- Gorni, P. H., Da Silva, C. B. and Pereira, A. A. 2021. Exogenous salicylic acid and ferulic acid improve growth, phenolic and carotenoid content in tomato. *Advances in Horticultural Science*, 35(4): 335-341. <https://doi.org/10.36253/ahsc-8295>.
- Craigie, J. S. 2011. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of applied phycology*, 23(3), 371-393.
- Guzman-Tellez, E. Díaz, M. D. and Benavides-Mendoza, A. 2014. Concentration of salicylic acid in tomato leaves after foliar aspersions of this compound. *American Journal of Plant Sciences*, 5(13): 2048-2056.

- Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M. and Ahmad, A. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and experimental botany*, 68(1): 14-25. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.08.005>.
- Horotan, A. and Oancea, S. 2013. Effects of fungicide and acetylsalicylic acid treatments on the physiological and enzymatic activity in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Research paper*, 72(1): 13-26.
- INFOAGRO. 2022. Importancia económica de jitomate en México. [En línea] <https://mexico.infoagro.com/importancia-economica-del-tomate-en-mexico/> (Consultado el 06 de marzo del 2023).
- Inayath, H. H., Kasinadhuni, N. and Ariol, T. 2021. The effect of seaweed extract on tomato plant growth, productivity and soil. *Journal of Applied Phycology*, 33: 1305–1314.
- INTAGRI. 2023a. Bioestimulantes en Nutrición, Fisiología y Estrés Vegetal. En línea] <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/bioestimulantes-en-nutricion-fisiologia-y-estres-vegetal> (Consultado el 05 de marzo del 2023).
- INTAGRI. 2023b. Uso de Extractos de Algas (*Ascophyllum nodosum*) como bioestimulantes en Agricultura. [En línea] <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/uso-de-extractos-de-ascophyllum-nodosum>. (Consultado el 02 de marzo del 2023).
- Immersio. 2005. Algas pardas *Sargassum vulgare*. *Club D´Immersio Biología. Facultad de Biología*. [En línea] https://www.cibsub.cat/bioespecie_es-sargassum_vulgare-40280#:~:text=Esta%20alga%20presenta%20un%20talo,las%20axilas%20de%20las%20ramas. (Consultado el 27 de febrero del 2023).
- Islam, M. T., Gan, H. M., Ziemann, M., Hussain, H. I., Arioli, T. and Cahill, D. 2020. Phaeophyceae (Brown algal) extracts activate plant defense systems in *Arabidopsis thaliana* challenged with phytophthora

cinnamomi. *Frontiers in Plant Science*. 11: 852.
<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2020.00852>.

James, S. and Craigie, S. J. 2011. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of applied phycology*, 23: 371-393.

Juárez, L. P., Bugarín, R., Castro, R., Sánchez, C. A., Cruz, E. Juárez, C. y Alejo, G. 2011. Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. *Revista Fuerte*, 8: 22-35.

Khan, M. R. I., Fatma, M., Per, S. T., Anjum, A. N. and Khan, A. N. 2015. Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in Plant Science*, 6: 462.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00462>.

KELPAK. 2020. Fertilizante orgánico mineral con algas marinas (*Ecklonia máxima*) para aplicación foliar o al suelo o mediante sistemas de fertirriego. Registró ICA No. 3077. [En línea] <https://agroactivocol.com/wp-content/uploads/2022/10/FICHA-TECNICA-KELPAK.pdf> (Consultado el 07 de marzo del 2023).

Larqué-Saavedra, A., Martín-Mex, R., Nexticapan-Garcéz, A., Vergara-Yoisura, S. y Gutiérrez-Rendón, M. 2010. Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 16(3): 183-187.

Layek, J., Das, A., Idapuganti, R. G., Sarkar, D., Ghosh, A., Zodape, S. T., Lal, R., Yadav, G. S., Panwar, A. S., Ngachan, S., and Meena, R. S. 2018. Seaweed extract as organic bio-stimulant improves productivity and quality of rice in eastern Himalayas. *Journal of Applied Phycology*, 30(1): 547-558. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1225-0>.

León, A. J. y Yépez, V. J. 2008. Respuesta del cultivo de tomate riñón a la aplicación al suelo de ácidos húmicos preparados artesanalmente y

zeolita, en Chorlaví, Parroquia San Antonio. Tesis de Licenciatura. Ibarra, Ecuador. 26-27.

Li, Z., Palmer, W. M., Martin, A. P., Wang, R., Rainsford, F., Jin, Y., Patrick, J. W., Yang, Y. and Ruan, Y. L. 2012. High invertase activity in tomato reproductive organs correlates with enhanced sucrose import into, and heat tolerance of, young fruit. *Journal of Experimental Botany*, 63(3): 1155-1166.

Lorenzo, O. y Solano, R. 2005. Señalización de ácido jasmónico e interacciones con otras hormonas. *Biojournal.net*. 1: 1-16

Mahmoud, S. H., Salama, D. M., El-Tanahy, A. M. M. and El-Tanahy, E. H. A. 2019. Utilization of seaweed (*Sargassum vulgare*) extract to enhance growth, yield and nutritional quality of red radish plants. *Annals of Agricultural Sciences*, 164(2): 67-175. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2019.11.002>.

Martínez, S. 2007. Conjunto Tecnológico para la Producción de Tomate. Universidad de Puerto Rico Recinto. Universitario de Mayagüez. Colegio de Ciencias Agrícolas. 1-7.

Miserendino, E. 2011. Manual para la construcción de microtúneles. 1 edición Ediciones INTA. Hortalizas I. 16(2). [En línea] https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/25834/mod_resource/content/1/script-tmp-inta_microtuneles_eduardo_miserendino.pdf (Consultado el 22 de febrero del 2023).

Moncada, A., Vetrano, F., Esposito, A. and Miceli, A. 2022. Effects of NAA and *Ecklonia maxima* extracts on lettuce and tomato transplant production. *Agronomy*, 12(2): 329. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020329>.

Organización de las Naciones Unidas. 2023. Población en crecimiento. Perspectivas de población mundial 2022 y tablero de la población Mundial. [En línea] <https://www.un.org/es/global-issues/population> (Consultado el 05 de marzo del 2023).

- Pancheva, T. V. and Popova, L. P. 1998. Effect of the salicylic acid on the synthesis of ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase in barley leaves. *Plant Physiology*, 152(4-5): 381-386. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(98\)80251-4](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(98)80251-4).
- Pancheva, T. V., Popova, L. P. and Uzunova, A. M. 1996. Effect of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. *Journal of Plant Physiology*, 149(1-2): 57-63. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(96\)80173-8](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(96)80173-8).
- Park, S. W., Kaimoyo, E., Kumar, D., Mosher, S. and Klessig, D. F. 2007. Methyl salicylate is a critical mobile signal for plant systemic acquired resistance. *Science*. 318(5847): 113-116. <https://doi:10.1126/science>.
- Peet, M. M. 2009. Physiological disorders in tomato fruit development. *Acta Horticulturae*, 821: 151-160. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.821.16>.
- Peet, M. M., Willits, D. H. and Gardner, R. 1997. Response of ovule development and post-pollen production processes in male-sterile tomatoes to chronic, sub-acute high temperature stress. *Journal of Experimental Botany*, 48(1): 101-111.
- Pramanick, B., Brahmachari, K., Mahapatra, B. S., Ghosh, A., Ghosh, D. and Kar, S. 2017. Growth, yield and quality improvement of potato tubers through the application of seaweed sap derived from the marine alga *Kappaphycus alvarezii*. *Journal of Applied Phycology*, 29(6): 3253-3260. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1189-0>.
- Pratt, L. y Ortega, J. M. 2019. Agricultura protegida en México. Elaboración de la metodología para el primer bono verde agrícola certificado. [En línea] <http://dx.doi.org/10.18235/0001705>. (Consultado el 05 de marzo del 2023).
- Pressman, E., Shaked, R. and Firon, N. 2007. Tomato response to heat stress: focus on pollen grains. *Plant Stress*, 2(1): 216-227.

- Raddy, H. M. and Korrat, E. E. E. 2020. Nematicidal activity of acetylsalicylic acid comparing with oxamyl against rootknot nematode on tomato plants. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences F. Toxicology & Pest Control*, 12(2): 241-247.
- Ramírez, Z. R. 2012. Efecto del Ácido Salicílico en el crecimiento y desarrollo de un cultivo de Acelga (*Beta vulgaris* L. var. Fordhook). Tesis. Saltillo, Coahuila, México.
- Rangel-Sánchez, G., Castro-Mercado, E., Beltrán-Peña, E., Reyes-de la Cruz, H. y García-Pineda, E. 2010. El ácido salicílico y su participación en la resistencia a patógenos en plantas. *Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Biológicas*. 12(2): 90-95.
- Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. *Annual Review Plant Physiology*. 43: 439-463. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.43.060192.002255>
- Rengasamy, K. R., Kulkarni, M. G., Stirk, W. A. and Staden, J. V. 2014. Eckol - a new plant growth stimulant from the brown seaweed *Ecklonia maxima*. *Journal Applied Phycology*, 27: 581-587. <https://doi.org/10.1007/s10811-014-0337-z>.
- Renaut, S., Masse, J., Norrie, J. P., Blal, B. and Hijri, M. 2019. A commercial seaweed extract structured microbial communities associated with tomato and pepper roots and significantly increased crop yield. *Microbial Biotechnology*, 12(6): 1346-1358. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13473>.
- Rieu, I., Twell, D. and Firon, N. 2017. Pollen development at high temperature: From acclimation to collapse. *Plant Physiology*, 173: 1967-1976.
- Rivera-Solís, L. L., Rodríguez-Jasso, R. M., Flores-López, M. L., Robledo-Olivo, A., Sandoval-Rangel, A., Sariñana-Aldaco, O. y González-Morales, S. 2021. Extractos de *Sargassum spp.* como inductores de tolerancia a

Fusarium oxysporum en plántulas de tomate. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(1): e2826. <https://doi.org/10.19136/era.a8n1.2826>.

Ruan, Y. L., Jin, Y., Yang, Y. J., Li, G. J. and Boyer, J. S. 2010. Sugar input, metabolism, and signaling mediated by invertase: roles in development, yield potential, and response to drought and heat. *Molecular Plant*, 6(3): 942-955.

Rubio, J. S., Garcia-Sanchez, F., Rubio, F. and Martínez, V. 2009. Yield, blossom end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K⁺ and Ca²⁺ fertilization. *Scientia Horticulturae*, 119(2): 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.07.009>.

Ruiz-Santiago, F. L. A., Ruiz-Velázquez, J. A., Hernández-Becerra, J. A., García-Jiménez, R. y Valadez- Villarreal, A. 2019. Extracción y cuantificación de clorofila en hojas comestibles del estado de Tabasco. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 4.

Sandoval, V. M. 2008. Cultivo de jitomate en México, con énfasis en nutrición. In *Jitomate Tecnología para su producción en Invernadero*. Bautista.; Chavarin P. C. y Valenzuela E. F. (eds.) Texcoco, México 2008. Colegio de postgraduados. 11-34.

Sakata, T. and Higashitani, A. 2008. Male sterility accompanied with abnormal anther development in plants-genes and environmental stresses with special reference to high temperature injury. *The International Journal of Developmental Biology*, 2(1): 42-51.

Santos-Coello, B. y Ríos-Mesa, D. 2016. Cálculo de soluciones nutritivas: en suelo y sin suelo. Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural, Cabildo Insular de Tenerife. 113.

Sariñana-Aldaco, O., Sánchez-Chávez, O., Troyo-Diéguez, E., Tapia-Vargas, L. E., Díaz-Pérez, J. C. and Preciado-Rangel, P. 2020. Foliar aspersion of salicylic acid improves nutraceutical quality and fruit yield in

tomato agriculture. 10:

482.

<https://doi.org/10.3390/agriculture10100482>.

Sarmiento-Sarmiento, G. J., Pino-Cabana, D., Mena-Chacón, L. M., Medina-Dávila, H. D. y Lipa-Mamani, L. M. 2019. Aplicación de humus de lombriz y algas marinas en el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus* Thunb.) var. Santa Amelia. *Scientia Agropecuaria*, 10(3): 363-368. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.06>.

SAS (Statistics Analysis System). 2016. SAS 9.4 Language Reference: Concepts, Sixth Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.

Sato, S. and Peet, M. M. 2005. Effects of moderately elevated temperature stress on the timing of pollen release and its germination in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of horticultural science & biotechnology*, 1(80): 23-28.

Sato, S., Peet, M. M. and Thomas, J. F. 2002. Determining critical pre and post-anthesis periods and physiological processes in *Lycopersicon esculentum* Mill. exposed to moderately elevated temperatures. *Journal of Experimental Botany*, 53: 1187-1195.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2017. Planeación agrícola nacional 2017-2013: Jitomate mexicano. Primera edición, 2017. [En línea] <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257077/Potencial-Jitomate.pdf>. (Consultado el 06 de marzo del 2023).

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2018. Agricultura Protegida con Macrotúneles. [En línea] <https://www.gob.mx/agricultura/michoacan/articulos/agricultura-protegida-con-macrotuneles?idiom=es> (Consultado el 05 de marzo del 2023).

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020. El jitomate, hortaliza mexicana de importancia mundial. [En línea]

<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-jitomate-hortaliza-mexicana-deimportanciamundial?idiom=es#:~:text=El%20jitomate%20es%20un%20de,B1%2C%20B2%2C%20y%20> (Consultado el 12 de enero del 2023).

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2022. El jitomate, hortaliza mexicana de importancia mundial. [En línea] <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-jitomate-hortaliza-mexicana-de-importancia-mundial?idiom=es> (Consultado el 04 de marzo del 2023).

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. 2016. La aplicación de sistemas de protección garantiza la disposición de frutas y verduras todo el año. [En línea] <https://www.gob.mx/senasica/articulos/conoce-que-es-la-agricultura-protegida?idiom=es> (Consultado el 27 de febrero del 2023).

Shahriari, F. M., Bahram, A. A., Hussein, N. S and Arouiee, H. 2019. Studying the effects of foliar spraying of seaweed extract as a bio-stimulant on the increase on the yield and quality of tomato (*Lycopersicon Esculentum* L.). *World Journal of Environmental Biosciences*, 3(8): 11-17.

Shinwari, A., Ahmad, I. and Khan I. 2018. Thermo-Tolerance in Tomato: Acetyl Salicylic Acid Affects Growth and Yield of Tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) under the agro-climatic condition of islamabad, Pakistan. *Advances in Agriculture and Environmental Science: Open Access*, 1(3): 102-107.

Shulaev, V., Silverman, P. y Raskin, I. 1997. Airborne signalling by methyl salicylate in plant pathogen resistance. *Nature*, 385: 718-721.

SIAP. 2023. Avance de Siembras y Cosechas Resumen por estado. [En línea] <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119> (Consultado el 03 de marzo del 2023).

- Silva, L., Bahcevandziev, K. and Pereira, L. 2019. Production of biofertilizaer from *Ascophyllum nodosum* and *Sargassum muticum* (Phaeophyceae). *Journal of Oceanology and Limnology*, 37(3): 918-927.
- Silva, A. A. R., Lima, G. S., Azevedo, C. A. V., Veloso, L. L. S. A., Lacerda, C. N., Gheyi, H. R., Pereira, W. E., Silva, V. R. and Soares, L. A. A. 2022. Methods of application of salicylic acid as attenuator of salt stress in cherry tomato. *Brazilian Journal of Biology*, 82: e265069. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.265069>.
- Steward, A. J., Bozonnet, S., Mullen, W. and Jenkins, G. I. 2000. Occurrence of flavonols in tomatoes and tomato-based products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(7): 2663-2669.
- Strawn, M. A., Marr, S. K., Inoue, K., Inada, N., Zubieta, C. and Wildemuth, M. C. 2007. Arabidopsis isochorismate synthase functional in pathogen-induced salicylate biosynthesis exhibits properties consistent with a role in diverse stress responses. *Journal of Biological Chemistry*, 282: 5919-5933.
- Subramaniyan, L., Veerasamy, R., Prabhakaran, J., Selvaraj, A., Algarswamy, S., Karuppasami, K. M., Thangavel, K. and Nalliappan, S. 2023. Biostimulation effects of seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) on phytomorpho-physiological, yield, and quality traits of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Horticulturae*, 9(3): 348. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030348>.
- Sutharsan, S., Nishanthi, S. and Srikrishnah, S. 2014. Effects of foliar application of seaweed (*Sargassum crassifolium*) liquid extract on the performance of *Lycopersicon esculentum* Mill. In Sandy Regosol of Batticaloa District Sri Lanka. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 14(12): 1386-1396.
- TecnoAgro. 2022. Importancia y beneficios de la Agricultura Protegida. [En línea] <https://tecnoagro.com.mx/no.-101/importancia-y-beneficios-de-la-agricultura-protegida>. (Consultado el 07 de marzo del 2023).

- Terralia. 2023. *Ecklonia máxima* 100% SL. Información técnica Actualizada sobre productos Fitosanitarios y Nutricionales para la agricultura convencional y orgánica, noticias y empresas del sector. [En línea] https://www.terralia.com/vademecum_de_productos_fitosanitarios_y_nutricionales/view_composition?book_id=1&composition_id=19453 (Consultado el 07 de marzo del 2023).
- Troxler, S. W. 2022. Tomato. Food and protection division. [En línea] <https://www.ncagr.gov/fooddrug/espanol/documents/Tomate.pdf>. (Consultado el 16 de marzo del 2023).
- Uribe-Orozco, M. E., Mateo-Cid, L. E., Mendoza-González, A. C., Amora-Lazcano, E. F., González-Mendoza, D. and Durán-Hernández, D. 2018. Efecto del alga marina *Sargassum vulgare* C. Agardh en suelo y el desarrollo de plantas de cilantro. *Idesia*, 36(3): 69-76. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018005001202>.
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M. and Foolad, M. R. 2007. Heat tolerance in plants: An overview". *Environmental and Experimental Botany*, 61(3): 199-223. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011>.
- Wang, Y., Fu, F., Li, J., Wang, G., Wu, M., Zhan, J., Chen, X. and Mao, Z. 2016. Effects of seaweed fertilizer on the growth of *Malus hupehensis* Rehd. Seedlings, soil enzyme activities and fungal communities under replant condition. *European Journal of Soil Biology*, 75: 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2016.04.003>.
- Wildermuth, M. C., Dewdney, J., Wu, G. and Ausubel, F. M. 2001. Isochorismate synthase is required to synthesize salicylic acid for plant defence. *Nature*, 414: 562-565. <https://doi.org/10.1038/35107108>.
- Vargas-Martínez, G., Betancourt-Galindo, R., Juárez-Maldonado, A., Sánchez-Vega, M., Sandoval-Rangel, A. and Méndez-López, A. 2023. Impacto de NPsZnO y microorganismos rizosfericos en el crecimiento y biomasa del tomate. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(1): 010. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4332>.

- Vázquez-Díaz, D. A., Salas-Pérez, L., Preciado-Rangel, P., Segura-Castruita, M. Á., González-Fuentes, J. A. and Valenzuela-García, J. R. 2016. Efecto del ácido salicílico en la producción y calidad nutracéutica de frutos de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 17: 3405-3414.
- Verberne, M. C., Verpoorte, R., Bol, J. F., Mercado-Blanco, J. and Linthorst, H. J. M. 2000. Overproduction of salicylic acid in plants by bacterial transgenes enhances pathogen resistance. *Nature Biotechnology*, 18: 779-783. <https://doi.org/10.1038/77347>.
- Vijayanand, N., Sivargansari, S. and Rathinavel, S. 2014. Potencial of liquid extracts of *Sargassum wightii* on growth biochemical and yield parameters of cluster bean plant. *Asian pacific journal of reproduction*, 3(2): 150-153. [https://doi.org/10.1016/S2305-0500\(14\)60019-1](https://doi.org/10.1016/S2305-0500(14)60019-1).
- Vlot, A. C., Dempsey, D. A. and Klessig, D. F. 2009. Salicylic acid, a multifaceted hormone to combat disease. *Annual Review of Phytopathology*, 47: 177-206.
- Yusuf, M., Hayat, S., Alyemeni, M. N., Fariduddin, Q. and Ahmad, A. 2013. Salicylic acid: physiological roles in plants. In "Salicylic acid". 15-30. Springer.
- Zahirul, I. M., Akter, M. M., Choi, K., Pill, B. and Kang, H. 2018. Salicylic acid in nutrient solution influence the fruit quality and shelf life of cherry tomato grown in hydroponics. *Sains Malaysiana*, 47(3): 537-542 <http://dx.doi.org/10.17576/jsm-2018-4703-14>.
- Zamora, E. 2016. El cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* L. Mill) bajo cubiertas plásticas. Universidad de Sonora. Departamento de Agricultura y Ganadería. Hermosillo Sonora. Cultivos Protegidos HORT-CP-003. 1-12
- Zhang, X., Ervin, E., and Schmidt, R. 2003. Physiological effects of liquid applications of a seaweed extract and a humic acid on creeping

bentgrass. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(4): 492-496. <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.4.0492>.

Zinn, K. E., Tunc, M. and Harper, J. F. 2010. Temperature stress and plant sexual reproduction: uncovering the weakest links. *Journal of Experimental Botany*, 61(7): 1959-1968.

ANEXO

Anexo 1. Análisis de suelo, agua y fertirriego

De acuerdo con el análisis de suelo se determinaron los miliequivalentes de aporte del suelo (Análisis Fertilab, 2019) (Cuadro 1):

Cuadro 1. Fertilidad del suelo de la casa sombra (Análisis Fertilab, 2019).

P- OLSEN	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Fe ⁼	Zn ⁼	Mn ⁼	Cu ⁺⁺	B	SO ₄ ⁼	NO ₃ ⁻
Ppm											
34.9	1374	4935	1215	47.6	4.61	3.64	2.79	2.25	1.17	43.7	153

Es moderadamente alcalino (pH de 7.11), textura media (Franco), moderadamente bajo en carbonatos, bajo en sales, muy alto en materia orgánica (4.22%), la conductividad hidráulica es moderadamente baja (2.59 cm h⁻¹), punto de saturación alto (56%), capacidad de campo alta (30%), punto de marchites permanente alto (17.9%), con una densidad aparente de 0.96 g cm⁻³, una CIC de 38.5 meq 100 g⁻¹, alto suministro de fosforo disponible, considerable suministro de potasio, alto de magnesio, importante suministro de nitrógeno inorgánico.

La fuente del agua es de un pozo profundo, y de acuerdo del análisis realizado los resultados fueron las siguientes: pH de 7.17 (óptimo), una conductividad eléctrica de 0.31 mS cm⁻¹ (adecuado), una RAS de 0.27 (óptimo), con niveles de bajo de carbonatos, cloruros (2.63 y 0.44 mEq L⁻¹, respectivamente), los cationes y los microelementos se encontraron por debajo de los niveles de referencia (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados de análisis físico-químico del agua (CIDAM, 2020).

NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁼	CO ₃	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
mEq L ⁻¹									
0.21	0.01	0.24	0	2.63	0.44	0.34	0.03	0.72	2.43

Con los resultados obtenidos de la solución ajustada al 100 % se realizó las aplicaciones de fertirriego de forma que fue avanzando el desarrollo del cultivo, en el establecimiento y desarrollo vegetativo se aplicó los 100 %. Sin embargo, en la etapa de floración y amarre del fruto se suministró el 150 % de solución

ajustada y finalmente en la etapa de maduración y cosecha se duplico la solución con un total de 200% de nutrientes ajustadas (Cuadro 3 y 4).

Cuadro 3. Solución Steiner Universal para el tomate (Santos-Coello and Ríos-Mesa, 2016).

K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	NO_3^-	$H_2PO_4^-$	$SO_4^{=}$
mEq L⁻¹ requeridos					
7	9	4	11	1	8

Cuadro 4. Solución Steiner ajustada.

	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	NO_3^-	$H_2PO_4^-$	$SO_4^{=}$
mEq L⁻¹						
Requeridos	7	9	4	11	1	8
Análisis de agua	0.03	0.72	2.43	0.21	0.01	0.24
Solución ajustada	6.97	8.28	1.57	10.79	0.99	7.76

Para la preparación de la solución Steiner se realizaron los cálculos correspondientes para la dosis de cada fertilizante como se muestra en los Cuadros 5 y 6.

Cuadro 5. Dosis de fuentes de nutrimentos en mg L⁻¹.

Fuente de Nutrimiento	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO_3^-	$H_2PO_4^-$	SO_4^{2-}	Peso equivalente del Compuesto	mg de la fuente L ⁻¹
	-----me L ⁻¹ -----							
	6.97	8.28	1.57	10.79	0.99	7.76		
H_3PO_4					0.99		32.65	32.32
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$			1.57			1.57	123.18	193.39
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$		8.28		8.28			118.04	977.37
KNO_3	0.78			0.78			101	78.78
K_2SO_4	6.19					6.19	87.12	539.27
CH_4N_2O				1.73			60	103.80