



TESIS

CON EL TEMA:

**“EFECTO DE CUATRO BIOESTIMULANTES EN EL DESARROLLO Y
PRODUCCIÓN DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum*), CON HÁBITO DE
CRECIMIENTO DETERMINADO”**

QUE PRESENTAN:

**YAZMIN FIGUEROA LOPEZ
EMMANUEL ALEJANDRO GOMEZ GUERRA
ROBERTO ANGEL VILLALOBOS PARRA**

ASESOR

MC. JORGE ARMANDO PERALTA NAVA

REVISORES

**DRA. MARIA DE JESUS RAMIREZ RAMIREZ
MC. OSVALDO AMADOR CAMACHO**

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIEROS EN AGRONOMÍA

TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA, JALISCO. ABRIL, 2026.



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Tlajomulco
Dirección
Subdirección Académica

Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, 24/Marzo/2026

No. DE OFICIO: D.SA/DEP/459/2026

ASUNTO: Autorización de impresión definitiva y digitalización.

C. YAZMIN FIGUEROA LOPEZ

C. EMMANUEL ALEJANDRO GOMEZ GUERRA

C. ROBERTO ANGEL VILLALOBOS PARRA

PASANTES DE LA CARRERA DE INGENIERIA EN AGRONOMÍA
P R E S E N T E S

Dado que el Comité dictaminó como **APROBADA** su TITULACIÓN INTEGRAL: OPCIÓN I (TESIS), con el tema **"EFECTO DE CUATRO BIOESTIMULANTES EN EL DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum*), CON HÁBITO DE CRECIMIENTO DETERMINADO"** y determinó que dan cumplimiento con los requisitos establecidos, se les notifica que tienen la autorización para su impresión definitiva y digitalización.

Sin otro particular quedo de usted.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

Educando para la sociedad Actual y los Retos del futuro



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

**INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE TLAJOMULCO**

C. MARÍA ISABEL BECERRA RODRÍGUEZ
DIRECTORA DEL PLANTEL

DIRECCION

C.c.p.- Coordinación Titulación. - Edificio
C.c.p.- ☒ Minutario. -
MIBR/IGL/ATR/mjhc*



2026
año de
**Margarita
Maza**



KM. 10 carretera a San Miguel Cuyutlán, Cto. Vicente Fernández Gómez C.P. 45640 Tlajomulco de Zúñiga, Jal.
Tel. 33 29 02 11 30 e-mail: plan_tlajomulco@tecnm.mx www.tlajomulco.tecnm.mx



Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, 23/Marzo/2026
No. DE OFICIO: D.SA/DCA/210/2026

ASUNTO: Liberación de proyecto para
la titulación integral.

ME. ANDREA TORRES RICO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

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

NOMBRE DEL ESTUDIANTE Y/O EGRESADO:	YAZMIN FIGUEROA LOPEZ
NO. DE CONTROL:	21940104
PRODUCTO:	OPCIÓN I (TESIS)
CARRERA:	INGENIERÍA EN AGRONOMÍA
NOMBRE DEL PROYECTO:	"EFECTO DE CUATRO BIOESTIMULANTES EN EL DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE JITOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i>), CON HÁBITO DE CRECIMIENTO DETERMINADO"

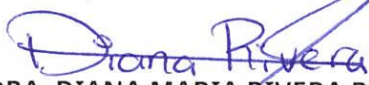
Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

Educando para la sociedad Actual y los Retos del futuro®




DRA. DIANA MARIA RIVERA RODRIGUEZ
RESPONSABLE DEL DEPARTAMENTO
DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

 MC. JORGE ARMANDO PERALTA NAVA Nombre y firma del asesor	 DRA. MARIA DE JESUS RAMIREZ RAMIREZ Nombre y firma del revisor	 MC. OSVALDO AMADOR CAMACHO Nombre y firma del revisor
---	---	--

C.c.p.- Coordinación Titulación. - Edificio

C.c.p.- Minutario. -

DMRR/mjhc*



2026
año de
**Margarita
Maza**





Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Tlajomulco

Dirección

Subdirección Académica

Departamento de Ciencias Agropecuarias

Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, 23/Marzo/2026

No. DE OFICIO: D.SA/DCA/212/2026

ASUNTO: Liberación de proyecto para
la titulación integral.

ME. ANDREA TORRES RICO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

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

NOMBRE DEL ESTUDIANTE Y/O EGRESADO:	EMMANUEL ALEJANDRO GOMEZ GUERRA
NO. DE CONTROL:	19940244
PRODUCTO:	OPCIÓN I (TESIS)
CARRERA:	INGENIERÍA EN AGRONOMÍA
NOMBRE DEL PROYECTO:	"EFECTO DE CUATRO BIOESTIMULANTES EN EL DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE JITOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i>), CON HÁBITO DE CRECIMIENTO DETERMINADO"

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

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

Educando para la sociedad Actual y los Retos del futuro®

Diana Rivera

DRA. DIANA MARIA RIVERA RODRIGUEZ
RESPONSABLE DEL DEPARTAMENTO
DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



 MC. JORGE ARMANDO PERALTA NAVA Nombre y firma del asesor	 DRA. MARIA DE JESUS RAMIREZ RAMIREZ Nombre y firma del revisor	 MC. OSVALDO AMADOR CAMACHO Nombre y firma del revisor
--	--	---

C.c.p.- Coordinación Titulación. - Edificio

C.c.p.- Minutario. -

DMRR/mjhc*



2026
año de
Margarita Maza



KM. 10 carretera a San Miguel Cuyutlán, Cto. Vicente Fernández Gómez C.P.45640 Tlajomulco de Zúñiga, Jal.
Tel. 33 29 02 11 30 e-mail: plan_tlajomulco@tecnm.mx www.tlajomulco.tecnm.mx



Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, 23/Marzo/2026
No. DE OFICIO: D.SA/DCA/211/2026

ASUNTO: Liberación de proyecto para
la titulación integral.

ME. ANDREA TORRES RICO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

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

NOMBRE DEL ESTUDIANTE Y/O EGRESADO:	ROBERTO ANGEL VILLALOBOS PARRA
NO. DE CONTROL:	21940150
PRODUCTO:	OPCIÓN I (TESIS)
CARRERA:	INGENIERÍA EN AGRONOMÍA
NOMBRE DEL PROYECTO:	"EFECTO DE CUATRO BIOESTIMULANTES EN EL DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE JITOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i>), CON HÁBITO DE CRECIMIENTO DETERMINADO"

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

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

Educando para la sociedad Actual y los Retos del futuro®



S.E.P.
TECNM
14DIT00036
IT TLAJOMULCO
CIENCIAS
AGROPECUARIAS

Diana Rivera

DRA. DIANA MARIA RIVERA RODRIGUEZ
RESPONSABLE DEL DEPARTAMENTO
DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

 MC. JORGE ARMANDO PERALTA NAVA Nombre y firma del asesor	 DRA. MARIA DE JESUS RAMIREZ RAMIREZ Nombre y firma del revisor	 MC. OSVALDO AMADOR CAMACHO Nombre y firma del revisor
--	--	---

C.c.p.- Coordinación Titulación. - Edificio
C.c.p.- Minutario. -
DMRR/mjhc*



2026
año de
Margarita Maza



EFFECTO DE CUATRO BIOESTIMULANTES EN EL DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum*) CON HÁBITO DE CRECIMIENTO DETERMINADO.

FIGUEROA-LOPÉZ, YAZMÍN, VILLALOBOS-PARRA, ROBERTO ANGEL, GÓMEZ-GUERRA, EMMANUEL ALEJANDRO, PERLATA-NAVA JORGE ARMANDO, RAMÍREZ-RAMÍREZ MARIA DE JESUS, AMADOR-CAMACHO OSVALDO

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia económica y alimentaria a nivel mundial. Para alcanzar los estándares de rendimiento y calidad que exigen los mercados actuales, no basta con el manejo agronómico tradicional. Por lo que ha surgido un interés por el uso de bioestimulantes vegetales. Estos compuestos, que no son ni fertilizantes ni pesticidas en el sentido estricto, actúan sobre la fisiología de la planta para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes, aumentar la tolerancia al estrés abiótico y mejorar la calidad de la cosecha. El presente estudio evaluó la eficacia de diversas formulaciones de bioestimulantes en el desarrollo y rendimiento del jitomate (*Solanum lycopersicum*) variedad SVTE8444, cultivado bajo condiciones de invernadero en el Instituto Tecnológico de Tlajomulco, Jalisco. El objetivo principal fue evaluar el efecto de diferentes bioestimulantes en el desarrollo, producción y calidad del jitomate en ambiente controlado. Para ello, se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro tratamientos: T1 (Ácido Glutámico + Triptófano + Estoma-OR), T2 (Chronos + Poliaminas), T3 (Quitano) y T4 (Chronos + Estoma-OR), con aplicaciones quincenales y medición de variables morfo-fisiológicas y de rendimiento. Los resultados indicaron que no existe un único bioestimulante superior para todas las variables, sino que su elección depende del objetivo agronómico: el T4 destacó en vigor vegetativo inicial (altura y grosor de tallo); el T1 fue superior en el desarrollo reproductivo, induciendo un mayor número de racimos y frutos por planta; y el T2 resultó ser el más efectivo para el rendimiento final, logrando la cosecha total más alta con 127.505 kg gracias a un mejor llenado de fruto. Por el contrario, el T4 obtuvo el peso acumulado más bajo con 98.976 kg. En conclusión, para maximizar el tonelaje y el rendimiento final en sistemas de producción protegida, la aplicación de poliaminas (T2) demostró ser la alternativa más eficiente bajo las condiciones probadas.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	2
DEDICATORIA.....	5
RESUMEN.....	6
ÍNDICE	7
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE TABLAS	12
I. INTRODUCCION.....	13
II. HIPOTESIS	14
III. OBJETIVOS	15
3.1. Objetivo general:	15
3.2. Objetivos específicos:	15
IV. REVISION DE LA LITERATURA.	16
4.1 El Cultivo De Jitomate (<i>Solanum Lycopersicum</i>)	16
4.2 Taxonomía y Morfología	18
4.3 Descripción Morfológica	19
4.4 Manejo agronómico del jitomate en invernadero	22
4.5 Radiación y Fotoperiodo	23
4.6 Sustratos y Preparación.....	24
4.6.1 Labores Culturales.....	24
4.6.2 Tutorado y Poda	25
4.7 Polinización	25
4.8 Deshoje y Aclareo de Frutos	26
4.9 Riego y Drenaje	26
4.10 Nutrición vegetal y sanidad del cultivo	26
4.11 Principales plagas de invernadero	29
4.12 Principales enfermedades	35
4.13 Estrés abiotico y su impacto.....	41
4.14 Bioestimulantes en la Agricultura Moderna	45

4.14.1 Desventajas y Limitaciones.....	47
4.14.2 Triptofano	49
4.14.3 Poliaminas.....	51
4.14.4 Acido glutámico	53
4.14.5 Quitosano.....	55
4.14.6 Osmo regulador orgánico Estoma-OR.....	57
V. MATERIALES Y METODOS.....	63
5.1 Ubicación del experimento	63
5.2 Descripción del material vegetal	63
5.3 Preparación del invernadero	65
5.4 Trasplante	66
5.5 Polinización	67
5.6 Nutrición	68
5.7 Riegos	72
5.8 Tratamientos	72
5.8.1 Croquis de tratamientos.....	73
5.8.2 Aplicación de tratamientos.....	73
5.9 Variable a evaluar.....	75
5.9.1 Variables de Crecimiento y Fisiología Vegetal	75
5.9.2. Variables de Rendimiento y Reproducción	78
.....	82
5.9.3. Metodología de Medición de Variables	82
5.9.4. Variables de Rendimiento y Componentes del Rendimiento	83
5.9.5. Diseño experimental	83
5.10 Modelo estadístico	84
VI. RESULTADOS Y DISCUSION.....	85
6.1 Altura de Planta.....	85
6.2 Tallo	86
6.3 Chupones.....	87

6.4 Racimos	88
6.5 Flores	89
6.6 Frutos.....	91
6.7 Cosecha	92
VII. CONCLUSIONES.	95
VIII. LITERATURA CITADA.	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología del jitomate.	20
Figura 2. Comparación de una planta indeterminada vs determinada.	21
Figura 3. Polinización con abejorro.	25
Figura 4. Elementos presentes en el sustrato.....	28
Figura 5. Ciclo de vida de la Mosca Blanca.	30
Figura 6. Ciclo de vida de la Araña Roja.	31
Figura 7. Polilla del Tomate.....	32
Figura 8. Ciclo de vida del Trips.....	33
Figura 9. Ciclo de vida de pulgón.....	34
Figura 10. Ciclo de vida de psilidi.	35
Figura 11. Tomate con <i>Phytophthora</i>	36
Figura 12. Planta con Fusarium.....	37
Figura 13. Hoja de tomate con daño de cenicilla.	38
Figura 14. Daño de Tizón.	39
Figura 15. Cáncer Bacteriano.	40
Figura 16. Marchitez por <i>Verticillium</i>	41
Figura 17. Planta con estrés.	42
Figura 18. Desarrollo de planta de tomate.	44
Figura 19. Desarrollo de planta con y sin Bioestimulante.	48
Figura 20. Estructura química glicina betaína.	62
Figura 21. Ubicación del invernadero.	63
Figura 22. Planta variedad SVTE8444.	64
Figura 23. Invernadero limpio.	65
Figura 24. Trasplante	66
Figura 25. Distribución de planta.	67
Figura 26. Colmena de abejorros.	68
Figura 27. Fertilizantes listos para disolver.	69
Figura 28. Medición de solución de salida.	71

Figura 29. Aplicación de Tratamiento.	75
Figura 30. Medición de planta.	76
Figura 31. Medición de tallo.	77
Figura 32. Chupón de planta.	78
Figura 33. Racimo de planta.	79
Figura 34. Flor de planta.	80
Figura 35. Fruto de planta.	81
Figura 36. Bitácora de registro de datos.	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos que se realizaron.	72
Tabla 2. Distribución de aplicaciones de bioestimulantes.	73
Tabla 3. Fecha de aplicación de bioestimulantes.	74

I. INTRODUCCION

El jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) es una de las hortalizas de mayor importancia económica y alimentaria a nivel mundial. Su versatilidad culinaria, aunada a su alto valor nutricional, lo ha posicionado como un pilar en la agricultura global. México, siendo centro de domesticación de la especie, juega un rol protagónico no solo en su producción, sino también en la exportación, particularmente hacia el mercado norteamericano (FAOSTAT, 2023).

La creciente demanda de productos de alta calidad, inocuidad y disponibilidad durante todo el año ha impulsado la transición de la producción de campo abierto hacia sistemas de agricultura protegida, como los invernaderos. Estos entornos permiten un control preciso de las variables ambientales (temperatura, humedad, radiación) y nutricionales, maximizando el potencial genético de los cultivos y reduciendo el impacto de factores abióticos y bióticos adversos (Gruda, 2019). Dentro de este contexto, las variedades de jitomate con hábito de crecimiento determinado son preferidas para ciclos de producción cortos e intensivos, optimizando el uso del espacio y los recursos. (Gruda, 2019)

Sin embargo, para alcanzar los estándares de rendimiento y calidad que exigen los mercados actuales, no basta con el manejo agronómico tradicional. La agricultura moderna se enfrenta al desafío de ser más sostenible, eficiente y resiliente. En esta búsqueda, ha surgido un interés creciente por el uso de bioestimulantes vegetales. Estos compuestos, que no son ni fertilizantes ni pesticidas en el sentido estricto, actúan sobre la fisiología de la planta para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes, aumentar la tolerancia al estrés abiótico y mejorar la calidad de la cosecha (Du Jardin, 2015).

II. HIPOTESIS

Hipótesis nula

Los tratamientos evaluados a base de bioestimulantes no tiene ningún efecto en el desarrollo y en el rendimiento del Cultivo de Jitomate.

Hipótesis alterna

Los tratamientos evaluados a base de bioestimulantes por lo menos uno de ellos tiene un efecto en el desarrollo y en el rendimiento del Cultivo de Jitomate.

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general:

Evaluar el efecto de diferentes bioestimulantes en el desarrollo, producción y calidad de jitomate bajo condiciones de invernadero.

3.2. Objetivos específicos:

- a) Comparar el crecimiento vegetativo de plantas tratadas con distintos bioestimulantes.
- b) Determinar el rendimiento y calidad de frutos en cada tratamiento.
- c) Identificar el bioestimulante con mayor eficiencia en la nutrición vegetal del jitomate.

IV. REVISION DE LA LITERATURA.

4.1 El Cultivo De Jitomate (*Solanum Lycopersicum*)

El jitomate es la segunda hortaliza más producida a nivel mundial, solo superada por la papa. La producción global ha mostrado una tendencia creciente, superando los 189 millones de toneladas en el año 2021 (FAOSTAT, 2023). Los principales países productores son China, India, Turquía y Estados Unidos. Sin embargo, en términos de comercio internacional, México se destaca como el principal exportador de jitomate fresco del mundo, siendo Estados Unidos su principal destino, seguido de Canadá, Japón, Guatemala, Honduras, Costa Rica, Emiratos Árabes Unidos, Venezuela, Belice y Brasil.

La producción bajo condiciones de invernadero ha sido un factor clave en el éxito exportador de México. Este sistema permite a los productores controlar las condiciones ambientales, proteger el cultivo de plagas y fenómenos meteorológicos adversos, y lo más importante, garantizar una producción constante y de alta calidad durante todo el año. Según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la superficie destinada a la agricultura protegida en México ha crecido exponencialmente en las últimas dos décadas, siendo el jitomate uno de los cultivos dominantes en este sistema (SIAP, 2022).

La adopción de tecnologías como el riego por goteo, la hidroponía, el control climático automatizado y el manejo integrado de plagas ha permitido a los productores mexicanos alcanzar rendimientos que superan con creces los de campo abierto, llegando a obtener más de 500 toneladas por hectárea en invernaderos de alta tecnología (Moreno-Pérez et al., 2021). Esta intensificación de la producción no solo tiene un impacto económico directo, sino que también genera una importante cantidad de empleos en las zonas rurales, contribuyendo al desarrollo social.

El productor de jitomate en invernadero es un agricultor altamente tecnificado que debe tomar decisiones basadas en datos precisos. El monitoreo constante de la solución nutritiva, las condiciones climáticas dentro del invernadero y el estado fitosanitario del cultivo es fundamental para el éxito. En este contexto, la búsqueda de herramientas innovadoras, como los bioestimulantes, responde a la necesidad de optimizar aún más los procesos productivos, mejorar la eficiencia en el uso de insumos (agua y fertilizantes) y aumentar la resiliencia del cultivo frente a estreses abióticos inevitables, como las fluctuaciones de temperatura o la salinidad del agua de riego (De Pascale et al., 2017).

La producción se concentra en varios estados del país, aunque algunos destacan por su volumen y calidad. Los principales estados productores de jitomate en México son:

Sinaloa: Es el líder indiscutible en la producción de jitomate, especialmente de invernadero, y gran parte de su cosecha se destina a la exportación, principalmente a Estados Unidos.

San Luis Potosí: Es un estado clave en la producción de jitomate, sobre todo en la región de la Huasteca Potosina.

Baja California: Se enfoca en la producción de jitomate para el mercado de exportación, aprovechando su cercanía con la frontera de Estados Unidos.

Michoacán: Es un importante productor, con una diversidad de cultivos que incluyen jitomate.

Jalisco: Es otro estado con una producción significativa de jitomate, contribuyendo a la oferta nacional.

4.2 Taxonomía y Morfología

Clasificación Taxonómica

El conocimiento de la ubicación taxonómica del jitomate es fundamental para entender sus relaciones con otras especies, su origen y las bases de su mejoramiento genético. La clasificación taxonómica aceptada para el jitomate es la siguiente (Peralta & Spooner, 2017):

- **Reino:** Plantae
- **División:** Magnoliophyta (Plantas con flor)
- **Clase:** Magnoliopsida (Dicotiledóneas)
- **Orden:** Solanales
- **Familia:** Solanaceae
- **Género:** *Solanum*
- **Sección:** *Lycopersicon*
- **Especie:** *Solanum lycopersicum* L.

La familia Solanaceae es de gran importancia agrícola, ya que incluye otros cultivos relevantes como la papa (*Solanum tuberosum*), el chile (*Capsicum annuum*), la berenjena (*Solanum melongena*) y el tabaco (*Nicotiana tabacum*). Compartir familia implica que a menudo son susceptibles a plagas y enfermedades similares.

4.3 Descripción Morfológica

Raíz: El jitomate posee un sistema radicular pivotante que, en condiciones de campo, puede profundizar considerablemente. Sin embargo, en sistemas de invernadero con sustratos, desarrolla un sistema fibroso y fasciculado, muy denso, pero más superficial, lo que lo hace dependiente de un suministro constante de agua y nutrientes (Preciado-Rangel et al., 2019). Las raíces son las encargadas de la absorción de agua y nutrientes, además de ser sitios de síntesis de algunas hormonas vegetales.

Tallo: El tallo es herbáceo, pubescente (cubierto de pelos glandulares) y de sección angular. Su consistencia es semi-leñosa en la base a medida que la planta envejece. Sobre el tallo se insertan las hojas, las inflorescencias y, en los nudos, pueden formarse raíces adventicias si las condiciones de humedad son altas.

Hoja: Las hojas son compuestas, imparipinnadas, con 7 a 9 folíolos de borde dentado. Se disponen de forma alterna a lo largo del tallo. Las hojas son el principal órgano fotosintético de la planta y a través de sus estomas se realiza el intercambio gaseoso y la transpiración. Los pelos glandulares presentes en hojas y tallos segregan una sustancia resinosa que le confiere su olor característico.

Flor: Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racimo. Son flores perfectas (hermafroditas), con cáliz, corola, androceo (estambres) y gineceo (pistilo). La corola está formada por 5 a 7 pétalos de color amarillo. Los estambres están fusionados formando un cono alrededor del pistilo. Aunque la autofecundación es la norma, en invernadero la falta de viento o de insectos puede dificultar la vibración necesaria para liberar el polen, haciendo necesaria la polinización asistida (Sáez et al., 2020).

Fruto: El fruto es una baya, típicamente de color rojo en la madurez debido a la acumulación del pigmento licopeno, un potente antioxidante. La forma, tamaño y color del fruto varían enormemente según la variedad. El fruto puede ser bilocular, trilocular o multilocular. En su interior se encuentran las semillas, que son pequeñas, reniformes y aplanadas.

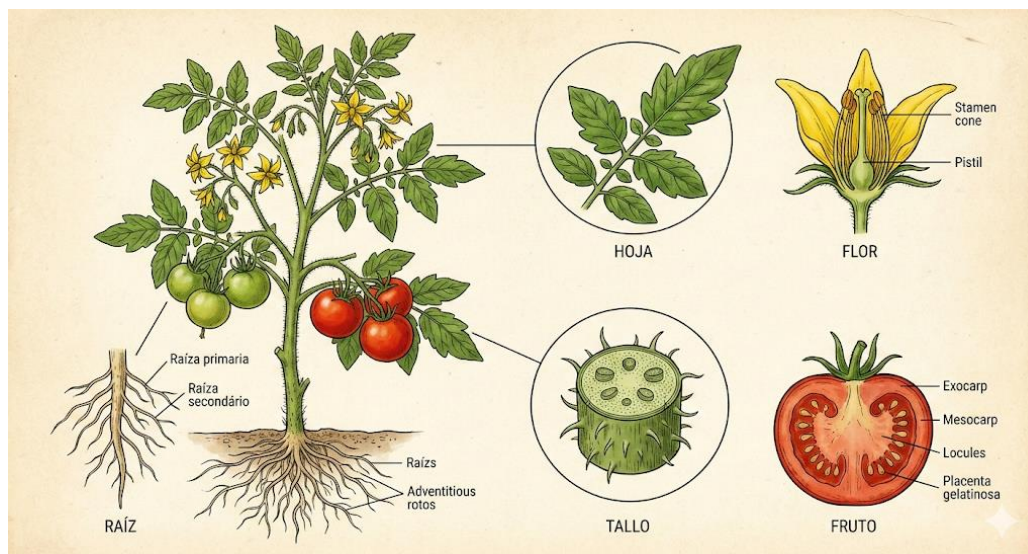


Figura 1. Morfología del jitomate.

Hábito de Crecimiento Determinado vs. Indeterminado

Una de las características más importantes en el manejo del jitomate es su hábito de crecimiento, que está controlado genéticamente.

- **Crecimiento Indeterminado:** Las variedades de este tipo crecen de forma continua. El meristemo apical del tallo principal se mantiene activo vegetativamente durante toda la vida de la planta. Las inflorescencias se producen en las axilas laterales. Estas plantas pueden alcanzar alturas considerables (varios metros) y requieren un tutorado y podas constantes. Son ideales para ciclos de producción largos en invernaderos de alta tecnología.

- **Crecimiento Determinado:** En estas variedades, el meristemo apical del tallo principal, después de producir un número determinado de hojas (generalmente entre 5 y 10), remata en una inflorescencia, deteniendo su crecimiento en altura. El desarrollo de la planta continúa a través de las yemas axilares más cercanas. Esto da como resultado plantas de porte más bajo, tipo arbusto, con una producción de frutos más concentrada en el tiempo. Son ideales para ciclos cortos, altas densidades de siembra y para la industria del procesado, aunque también se utilizan ampliamente en invernaderos con ciclos definidos (Schwarz et al., 2016). El presente trabajo se centra en este tipo de variedades, cuyo manejo hormonal y nutricional es crítico para maximizar el rendimiento en un período de tiempo compacto.

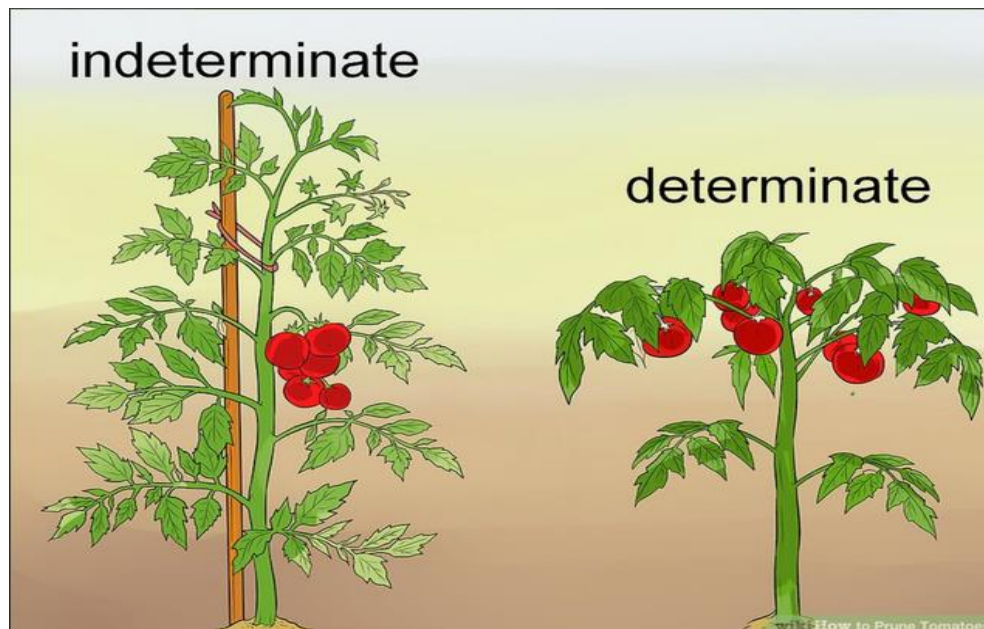


Figura 2. Comparación de una planta indeterminada vs determinada.

4.4 Manejo agronómico del jitomate en invernadero

El éxito en la producción de jitomate bajo invernadero depende de la gestión integrada y precisa de múltiples factores. El objetivo es crear un ambiente óptimo que permita a la planta expresar su máximo potencial genético, minimizando el estrés y maximizando la eficiencia en el uso de recursos.

Condiciones Ambientales Controladas; Temperatura y Humedad Relativa

La temperatura es el factor ambiental más influyente en el desarrollo del jitomate. Afecta a todos los procesos fisiológicos, desde la germinación hasta la maduración del fruto. Las temperaturas óptimas varían según la etapa fenológica (Katsoulas & Stanghellini, 2019):

- Temperaturas diurnas óptimas: 21-27 °C. Por encima de 32 °C, la fotosíntesis neta disminuye y pueden ocurrir problemas en la fecundación de las flores (caída de flor).

Temperaturas nocturnas óptimas: 16-18 °C. Temperaturas nocturnas por debajo de 12 °C pueden afectar negativamente el cuajado y desarrollo del fruto, mientras que temperaturas muy altas aumentan la tasa de respiración, consumiendo las reservas energéticas de la planta. (Katsoulas & Stanghellini, 2019)

La humedad relativa (HR) óptima se sitúa entre el 60% y el 80%. Una HR muy baja (<50%) puede aumentar el estrés hídrico y favorecer la aparición de plagas como la araña roja. Por otro lado, una HR muy alta (>90%) dificulta la transpiración, reduce la absorción de nutrientes como el calcio (causando la podredumbre apical o *blossom end rot*) y crea un ambiente propicio para el desarrollo de enfermedades fúngicas como *Botrytis cinerea* (Shamshiri et al., 2018). El manejo se realiza mediante sistemas de ventilación (cenital y lateral), nebulización (*fogging*) o pantallas térmicas. (Katsoulas & Stanghellini, 2019)

4.5 Radiación y Fotoperiodo

La luz es la fuente de energía para la fotosíntesis. La cantidad y calidad de la radiación lumínica influyen directamente en la biomasa, el número de flores y la calidad del fruto. El jitomate es una planta que requiere alta luminosidad. El parámetro clave es la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR). Un manejo adecuado de la estructura del invernadero, la limpieza de los plásticos y el uso de mallas de sombreo en épocas de alta radiación son prácticas comunes. En regiones con baja luminosidad invernal, se puede recurrir a la iluminación artificial suplementaria para mantener la productividad (Gómez & Mitchell, 2016).

El jitomate es una planta de día neutro, lo que significa que la floración no es inducida por una duración específica del día o la noche. Sin embargo, un fotoperiodo de 12 a 16 horas de luz favorece un mayor crecimiento y producción. Gonzalez, M. (2021).

Dióxido de Carbono (CO₂)

El CO₂ es un sustrato esencial para la fotosíntesis. En un invernadero cerrado durante el día, la concentración de CO₂ puede descender por debajo de los niveles atmosféricos (aprox. 400 ppm) debido al consumo de las plantas, convirtiéndose en un factor limitante para la producción. La fertilización carbónica, que consiste en inyectar CO₂ al invernadero para elevar su concentración hasta 800-1000 ppm, puede incrementar significativamente la tasa fotosintética y, por ende, el rendimiento, especialmente en condiciones de alta luminosidad (Bumgarner & Hochmuth, 2021).

4.6 Sustratos y Preparación

La producción en invernadero frecuentemente se realiza en sistemas sin suelo o **hidroponía**, utilizando sustratos inertes. Esto permite un control nutricional preciso y evita problemas relacionados con patógenos del suelo. Algunos de los sustratos más utilizados son (Moya et al., 2019):

- **Fibra de coco:** Alta capacidad de retención de agua y buena aireación. Es un subproducto orgánico y renovable.
- **Lana de roca:** Material inerte con excelentes propiedades hidrofísicas, aunque su desecho puede ser un problema medioambiental.
- **Perlita y Vermiculita:** Minerales expandidos que mejoran la aireación y retención de humedad, a menudo usados en mezclas.
- **Tezontle:** Roca volcánica porosa, de bajo costo y muy utilizada en México, con buena capacidad de drenaje.

Antes de la siembra, el sustrato debe ser desinfectado (si es reutilizado) y saturado con una solución nutritiva balanceada a un pH y conductividad eléctrica (CE) adecuados para la etapa inicial del cultivo. (Moya et al., 2019).

4.6.1 Labores Culturales

Son todas aquellas operaciones manuales que se realizan sobre la planta para guiar su crecimiento, optimizar la producción y mantener la sanidad del cultivo (Peil & López-Gálvez, 2017).

4.6.2 Tutorado y Poda

El tutorado es indispensable para mantener la planta erguida, facilitar la aireación, la aplicación de tratamientos y la cosecha. En jitomates determinados, aunque su crecimiento es limitado, el peso de los frutos hace necesario un sistema de soporte, comúnmente mediante espalderas o mallas (Peil & López-Gálvez, 2017).

La **poda** es crucial. Consiste en eliminar los brotes axilares (chupones) para dirigir los fotoasimilados hacia los tallos principales y los frutos. En variedades determinadas, se suelen dejar 2 o 3 tallos principales para maximizar el área productiva sin un exceso de follaje que pueda generar problemas de sombreo y enfermedades (Peil & López-Gálvez, 2017).

4.7 Polinización

En el ambiente cerrado de un invernadero, la polinización natural es deficiente. Para asegurar un buen cuajado de frutos, es necesario recurrir a métodos asistidos. El método más eficaz y extendido es el uso de **abejorros** (*Bombus terrestris*), que visitan las flores y las hacen vibrar, liberando el polen de manera muy eficiente. Alternativamente, se pueden utilizar vibradores manuales o la aplicación de hormonas cuajadoras, aunque este último método puede resultar en frutos de menor calidad (partenocárpicos) y está cada vez más restringido (Dafni et al., 2021).



Figura 3. Polinización con abejorro.

4.8 Deshoje y Aclareo de Frutos

El **deshoje** consiste en eliminar las hojas más viejas y senescentes de la parte baja de la planta. Esta labor mejora la ventilación en la base del tallo, reduce la incidencia de enfermedades y facilita la maduración uniforme de los primeros racimos al exponerlos a más luz (Heuvelink, 2018).

El **aclareo de frutos** se realiza para eliminar frutos pequeños o deformes de un racimo, permitiendo que los restantes alcancen un mayor tamaño y una calidad más homogénea. Esto es especialmente importante en variedades destinadas al mercado en fresco, donde el calibre y la uniformidad son críticos.

4.9 Riego y Drenaje

El riego en invernadero se realiza mayoritariamente por goteo, permitiendo la aplicación conjunta de agua y nutrientes (**fertirrigación**). La frecuencia y el volumen de riego dependen de la etapa del cultivo, las condiciones climáticas (radiación, temperatura, HR) y las características del sustrato.

Es fundamental gestionar no solo el riego aplicado, sino también el **porcentaje de drenaje**, que es la fracción de la solución nutritiva que sale por la base del contenedor del sustrato. Un drenaje adecuado (entre 20-30%) es esencial para evitar la acumulación de sales en la zona radicular, lo que podría generar estrés osmótico y toxicidad. El monitoreo constante del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) tanto de la solución de riego como del drenaje es una práctica estándar en la agricultura de precisión (Urrestarazu, 2015).

4.10 Nutrición vegetal y sanidad del cultivo

Fertilización por Etapa Fenológica

La demanda de nutrientes del jitomate no es constante a lo largo de su ciclo de vida. Una fertilización eficiente requiere ajustar la composición de la solución nutritiva a las necesidades específicas de cada etapa

fenológica. Las concentraciones se expresan comúnmente en partes por millón (ppm) o milimoles por litro (mmol/L).

Etapa de Plántula y Crecimiento Vegetativo

Desde el trasplante hasta el inicio de la floración, el objetivo es establecer un sistema radicular robusto y un desarrollo vegetativo vigoroso.

Nitrógeno (N): Esencial para la formación de aminoácidos, proteínas y clorofila. Se requiere en altas cantidades para el crecimiento de hojas y tallos. Se suele aportar en una relación Nitrato (NO_3^-) / Amonio (NH_4^+) de 90/10 para evitar un crecimiento excesivamente blando (Sonneveld & Voogt, 2017).

Fósforo (P): Fundamental para la transferencia de energía (ATP) y el desarrollo de raíces. Su demanda es crítica en las primeras etapas.

Calcio (Ca): Importante para la estructura de las paredes celulares y el crecimiento de los meristemos radiculares.

Etapa de Floración y Cuajado de Fruto

Durante esta etapa, el foco se desplaza del crecimiento vegetativo al reproductivo. Un exceso de nitrógeno puede provocar la caída de flores.

Potasio (K): Comienza a aumentar su importancia. Interviene en la regulación osmótica, la activación de enzimas y el transporte de azúcares.

Boro (B): Micronutriente clave para la germinación del tubo polínico y, por tanto, para el cuajado del fruto. Su deficiencia es una causa común de aborto floral (Zribi et al., 2021).

Calcio (Ca): Sigue siendo crucial. Se transporta a través del xilema, por lo que una buena transpiración es necesaria para su llegada a los frutos en desarrollo y prevenir la podredumbre apical.

Etapa de Desarrollo y Maduración del Fruto

Esta es la etapa de mayor demanda nutricional. Los frutos actúan como los principales sumideros de nutrientes y fotoasimilados.

Potasio (K): Se convierte en el elemento de mayor demanda. Es el "nutriente de la calidad", esencial para el llenado del fruto, la acumulación de azúcares (grados Brix), la síntesis de pigmentos (licopeno) y la firmeza. La relación N:K en la solución nutritiva puede llegar a ser de 1:2 o incluso superior.

Magnesio (Mg): Componente central de la molécula de clorofila, su demanda aumenta para mantener la actividad fotosintética de las hojas, que deben "alimentar" a los frutos en desarrollo.

Micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu): Son esenciales como cofactores enzimáticos para todos los procesos metabólicos que se intensifican durante el llenado del fruto (Ho & Adams, 2019).



Figura 4. Elementos presentes en el sustrato.

4.11 Principales plagas de invernadero

El ambiente controlado del invernadero, si bien protege de muchas plagas externas, puede favorecer el desarrollo explosivo de aquellas que logran establecerse. El Manejo Integrado de Plagas (MIP) es la estrategia para seguir, combinando control cultural, biológico y químico.

Principales Plagas y su Manejo

Mosca Blanca (*Bemisia tabaci*). Este pequeño insecto de color blanco es uno de los vectores de virus más importantes en el cultivo de jitomate.

Daños: La mosca blanca succiona la savia de las hojas, debilitando la planta. Excreta una mielecilla que favorece el desarrollo del hongo conocido como fumagina, el cual reduce la capacidad fotosintética. El daño más severo es la transmisión de virus como el Virus del Rizado Amarillo del Tomate (TYLCV).

Manejo: El control se basa en un enfoque integrado que incluye el uso de mallas anti-insectos en las entradas y ventilas del invernadero, la colocación de trampas cromáticas amarillas para el monitoreo y captura de adultos, la eliminación de malas hierbas que sirven como hospederas y la aplicación de insecticidas específicos, rotando los ingredientes activos para evitar la resistencia. El control biológico con depredadores como *Nesidiocoris tenuis* también es una opción viable.

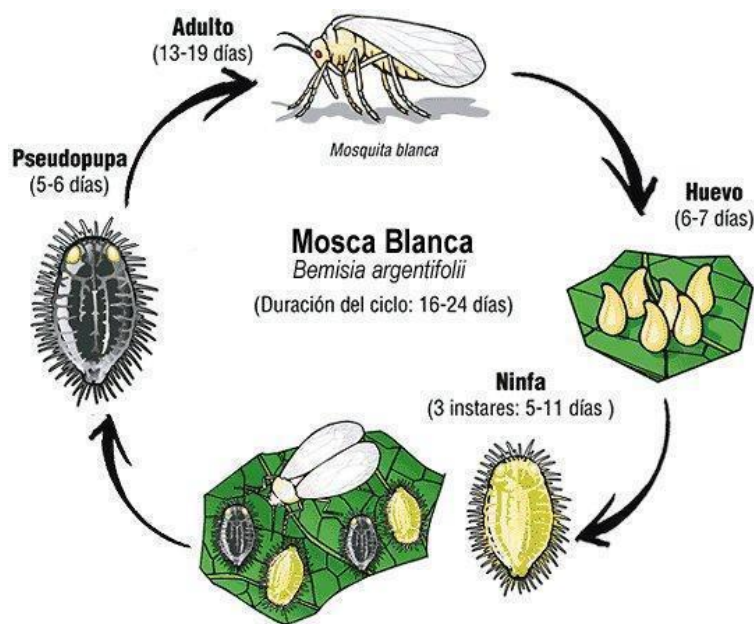


Figura 5. Ciclo de vida de la Mosca Blanca.

Araña Roja (*Tetranychus urticae*) Este ácaro apenas visible a simple vista puede causar daños significativos en poco tiempo.

Daños: Se alimenta del contenido celular de las hojas, provocando la aparición de pequeños puntos amarillentos que pueden unirse y causar el desecamiento y la caída de las hojas. En infestaciones severas, se observa una fina telaraña en el envés de las hojas.

Manejo: La araña roja prospera en condiciones de baja humedad y altas temperaturas. Aumentar la humedad relativa puede ayudar a controlar su población. El monitoreo constante es clave para detectar los primeros focos. Se pueden emplear acaricidas específicos y se recomienda la liberación de ácaros depredadores como *Phytoseiulus persimilis*.



Figura 6. Ciclo de vida de la Araña Roja.

Tuta absoluta (Polilla del tomate) La larva de esta polilla es extremadamente destructiva.

Daños: Las larvas excavan galerías en el interior de las hojas, tallos y frutos. En las hojas, estas galerías son irregulares y translúcidas, y eventualmente se necrosan. En los frutos, las perforaciones y galerías los hacen inviables para su comercialización.

Manejo: El uso de trampas de feromonas para la captura masiva de machos es una herramienta fundamental. La instalación de mallas anti-insectos, la eliminación de restos de cultivo y la aplicación de insecticidas específicos, preferiblemente biológicos como *Bacillus thuringiensis*, son medidas de control efectivas.



Figura 7. Polilla del Tomate.

Trips o Piojillos (*Frankliniella occidentalis*) Estos insectos pequeños y alargados pueden causar daños directos e indirectos.

Daños: Se alimentan de hojas, flores y frutos, dejando manchas plateadas y deformaciones. El daño más grave es la transmisión del Virus del Bronceado del Tomate (TSWV).

Manejo: Al igual que con la mosca blanca, las trampas cromáticas (en este caso, azules) son útiles para el monitoreo. El control biológico con ácaros depredadores del género *Amblyseius* y chinches depredadoras es efectivo. La aplicación de insecticidas debe realizarse de manera selectiva.

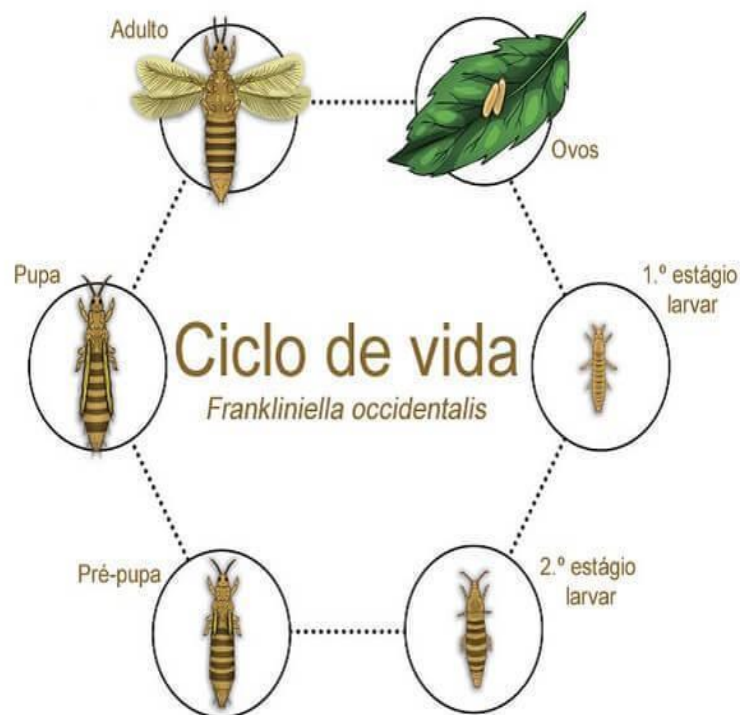


Figura 8. Ciclo de vida del Trips.

Pulgones (*Aphis gossypii*, *Myzus persicae*) Estos insectos chupadores se congregan en colonias, principalmente en los brotes tiernos.

Daños: Succionan la savia, debilitando la planta y causando deformaciones en hojas y brotes. Al igual que la mosca blanca, secretan mielecilla que favorece la fumagina y pueden transmitir virus.

Manejo: Se recomienda el control biológico con parasitoides como *Aphidius colemani* o depredadores como las mariquitas y crisopas. La aplicación de jabones potásicos o aceites vegetales puede ser efectiva para controlar poblaciones incipientes.

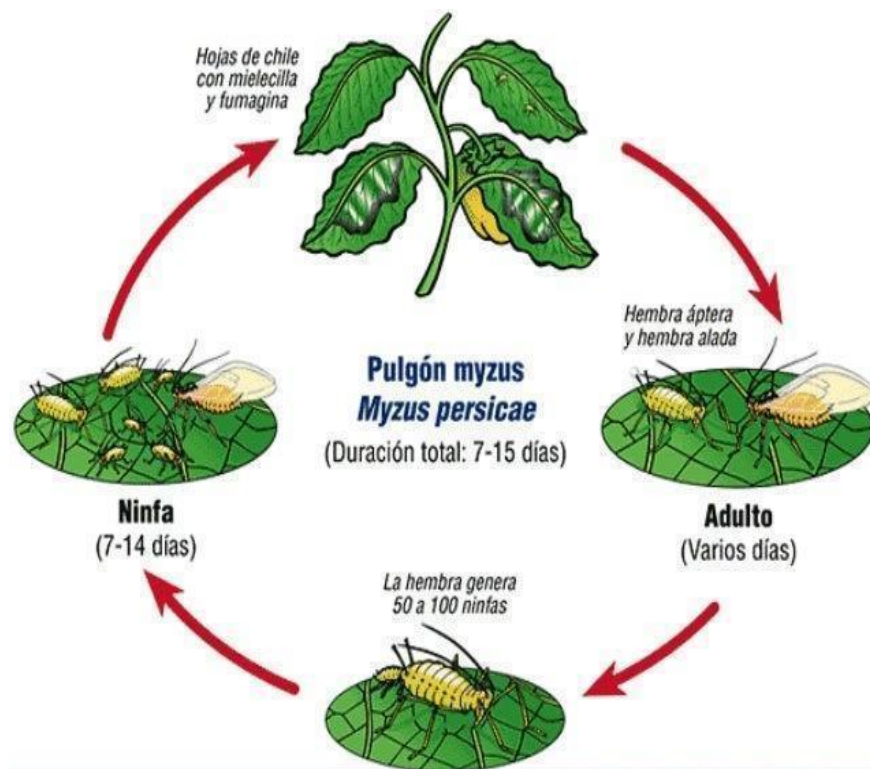


Figura 9. Ciclo de vida de pulgón.

Paratrioza o Psílido del Tomate (*Bactericera cockerelli*) Este insecto es vector de una enfermedad devastadora.

Daños: El daño directo es causado por la succión de savia, pero el principal problema es la transmisión del fitoplasma que causa la enfermedad del "Permanente del Tomate", provocando achaparramiento, amarillamiento y una drástica reducción del rendimiento.

Manejo: El control se centra en la prevención, utilizando plántulas sanas, mallas anti-insectos y la eliminación de hospederos alternos. La aplicación de insecticidas sistémicos y de contacto es necesaria para controlar las poblaciones del vector.

Minador de la Hoja (*Liriomyza spp.*) Las larvas de esta pequeña mosca crean galerías características en las hojas.

Daños: Las larvas se alimentan del tejido interno de las hojas, creando galerías sinuosas que reducen la capacidad fotosintética de la planta. En ataques severos, las hojas pueden secarse y caer.

Manejo: El control biológico con avispas parasitoides del género *Diglyphus* es muy efectivo. Se deben evitar insecticidas de amplio espectro que puedan afectar a estos enemigos naturales. La eliminación de las primeras hojas afectadas puede ayudar a reducir la población.

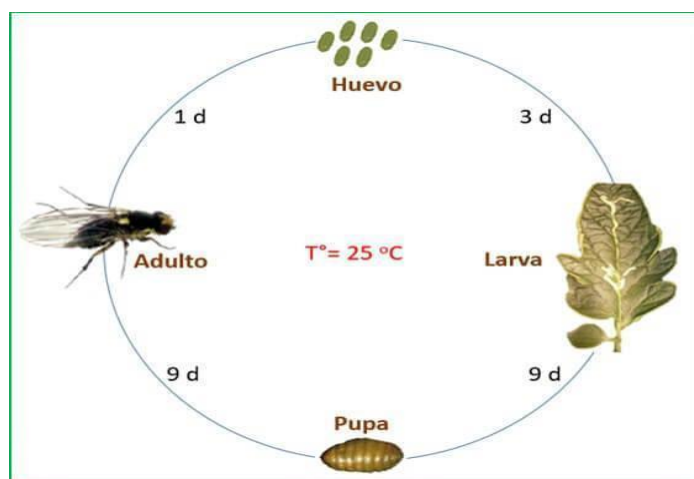


Figura 10. Ciclo de vida de psilidi.

4.12 Principales enfermedades

Las enfermedades fúngicas y bacterianas pueden propagarse rápidamente en el ambiente húmedo y cálido de un invernadero.

Tizón Tardío (*Phytophthora infestans*) Es una de las enfermedades más destructivas del jitomate, favorecida por alta humedad y temperaturas frescas.

Síntomas: Manchas irregulares de aspecto acuoso en hojas y tallos, que se agrandan y se vuelven de color marrón a negro. En el envés de las hojas, bajo condiciones de humedad, puede aparecer un moho

blanquecino. Los frutos desarrollan lesiones firmes de color marrón oscuro.

Manejo: La prevención es clave. Se debe asegurar una buena ventilación para reducir la humedad, evitar el riego por aspersión y eliminar los restos de cultivo. La aplicación preventiva de fungicidas a base de cobre o de acción sistémica es fundamental en periodos de riesgo.



Figura 11. Tomate con *Phytophthora*.

Marchitez por Fusarium (*Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici*)

Este hongo del suelo infecta las raíces y obstruye el sistema vascular de la planta.

Síntomas: Amarillamiento de las hojas inferiores, generalmente en un solo lado de la planta o de la hoja. La planta muestra marchitez durante las horas de más calor, recuperándose por la noche, hasta que la marchitez se vuelve permanente. Un corte transversal del tallo revela una decoloración marrón del tejido vascular.

Manejo: La medida más efectiva es el uso de variedades resistentes. La desinfección del suelo y el uso de sustratos libres de patógenos son prácticas recomendadas.



Figura 12. Planta con Fusarium.

Cenicilla (*Oidium neolycopersici* y *Leveillula taurica*) Enfermedad fúngica común en condiciones de baja humedad relativa y temperaturas moderadas.

Síntomas: Aparición de manchas pulverulentas de color blanco a grisáceo en el haz de las hojas (*Oidium*) o manchas amarillentas en el haz con un crecimiento fúngico visible en el envés (*Leveillula*). Las hojas afectadas se vuelven amarillas y se secan.

Manejo: Asegurar una buena ventilación. La aplicación de fungicidas a base de azufre o fungicidas sistémicos específicos es efectiva.



Figura 13. Hoja de tomate con daño de cenicilla.

Tizón Temprano (*Alternaria solani*) Este hongo afecta hojas, tallos y frutos.

Síntomas: Manchas necróticas de color marrón oscuro en las hojas, a menudo con anillos concéntricos característicos ("ojo de buey"). En los tallos, las lesiones pueden causar el "mal del talluelo" en plántulas. En los frutos, aparecen lesiones oscuras y hundidas cerca del cáliz.

Manejo: La rotación de cultivos, la eliminación de restos de plantas infectadas y el uso de semilla sana son importantes. Se recomienda la aplicación de fungicidas protectores. (Sáez et al., 2020)



Figura 14. Daño de Tizón.

Moho Gris (*Botrytis cinerea*) Este hongo prospera en condiciones de alta humedad y ataca principalmente tejidos dañados o senescentes.

Síntomas: Manchas acuosas en hojas, tallos, flores y frutos, que se cubren de un característico moho gris aterciopelado. Causa la pudrición de los frutos.

Manejo: La prevención es la única estrategia efectiva. Usar semilla certificada y plántulas sanas. Desinfectar herramientas y manos. Eliminar y destruir las plantas infectadas. No existe un tratamiento químico curativo.



Figura 15. Cáncer Bacteriano.

Marchitez por *Verticillium* (*Verticillium dahliae*) Similar a Fusarium, es un hongo del suelo que afecta el sistema vascular.

Síntomas: Los síntomas son muy parecidos a los de la marchitez por Fusarium, con amarillamiento de las hojas inferiores y marchitez diurna. A menudo, el amarillamiento se presenta en forma de "V" en el folíolo. El tejido vascular del tallo también muestra una coloración marrón.

Manejo: La principal medida de control es el uso de variedades resistentes. La solarización y la biofumigación del suelo pueden ayudar a reducir el inóculo. (Rouphael & Colla, 2020)



Figura 16. Marchitez por *Verticillium*.

4.13 Estrés abiotico y su impacto

Además de las plagas y enfermedades, factores ambientales pueden causar estrés en las plantas, afectando su crecimiento y rendimiento.

Estrés Hídrico. Tanto el déficit como el exceso de agua son perjudiciales.

Efectos: El déficit de agua provoca marchitamiento, reducción del crecimiento, caída de flores y frutos, y mayor susceptibilidad a plagas. El exceso de agua (encharcamiento) causa asfixia radicular, lo que también lleva a la marchitez y favorece el desarrollo de enfermedades de la raíz.

Manejo: Implementar un sistema de riego eficiente (como el goteo) que se ajuste a las necesidades de la planta en cada etapa de desarrollo. Monitorear la humedad del sustrato.



Figura 17. Planta con estrés.

Estrés por Temperatura. Las temperaturas extremas, tanto altas como bajas, afectan procesos fisiológicos clave.

Efectos: Las altas temperaturas pueden causar la caída de flores, mal cuajado de frutos y quemaduras solares en los mismos. Las bajas temperaturas ralentizan el crecimiento y, si son extremas, pueden causar daños por heladas.

Manejo: Utilizar mallas de sombreo y mejorar la ventilación para mitigar las altas temperaturas. En caso de riesgo de bajas temperaturas, se pueden usar sistemas de calefacción.

Estrés por Salinidad. El exceso de sales en el agua de riego o en el sustrato dificulta la absorción de agua y nutrientes.

Efectos: Reduce el crecimiento general de la planta, provoca quemaduras en los bordes de las hojas y disminuye el calibre y la calidad de los frutos.

Manejo: Utilizar agua de buena calidad. Aplicar riegos de lixiviación para lavar el exceso de sales del sustrato. Seleccionar portainjertos tolerantes a la salinidad.

Estrés por Radiación. Una radiación solar excesiva puede ser perjudicial, especialmente en combinación con altas temperaturas.

Efectos: Puede causar quemaduras en hojas y frutos (golpe de sol), que se manifiestan como áreas blanquecinas o amarillentas y hundidas en la superficie del fruto. También puede inhibir la fotosíntesis.

Manejo: El uso de mallas de sombreo y el encalado de la cubierta del invernadero ayudan a reducir la intensidad de la radiación.

Estrés por Heladas. Aunque menos común en invernadero, las heladas pueden ocurrir y ser letales.

Efectos: El congelamiento del agua dentro de los tejidos vegetales causa la ruptura de las células y la muerte de las partes afectadas de la planta (hojas, tallos y frutos).

Manejo: Asegurar un buen cierre del invernadero durante la noche y utilizar sistemas de calefacción o doble cubierta en zonas de riesgo. La aplicación de productos antiestrés puede ayudar a la planta a tolerar mejor las bajas temperaturas.

Fertilización Específica

Efecto en el Desarrollo de la Planta

La fertilización específica tiene un impacto directo y observable en cada etapa del desarrollo:

Etapla Vegetativa: Un balance preciso entre $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ y un suministro adecuado de P y Ca promueve un crecimiento equilibrado, con entrenudos cortos y un sistema radicular fuerte, en lugar de un crecimiento excesivamente exuberante y débil.

Etapla de Floración: El ajuste fino de B, Zn y Mo asegura la viabilidad del polen y un óptimo cuajado de frutos. Controlar el N evita la competencia entre el crecimiento vegetativo y el reproductivo.

Etapla de Llenado de Fruto: Suministrar altos niveles de K en el momento exacto en que los frutos son el principal sumidero potencia la acumulación de azúcares y ácidos orgánicos, mejorando directamente el sabor (grados Brix), el color (licopeno) y la vida postcosecha del jitomate (Fanasca et al., 2016). La gestión precisa del Ca previene desórdenes fisiológicos como el *blossom end rot*.

En resumen, la fertilización específica transforma la nutrición de un proceso preventivo y general a uno predictivo, dinámico y correctivo, siendo la base de la producción de alta tecnología.

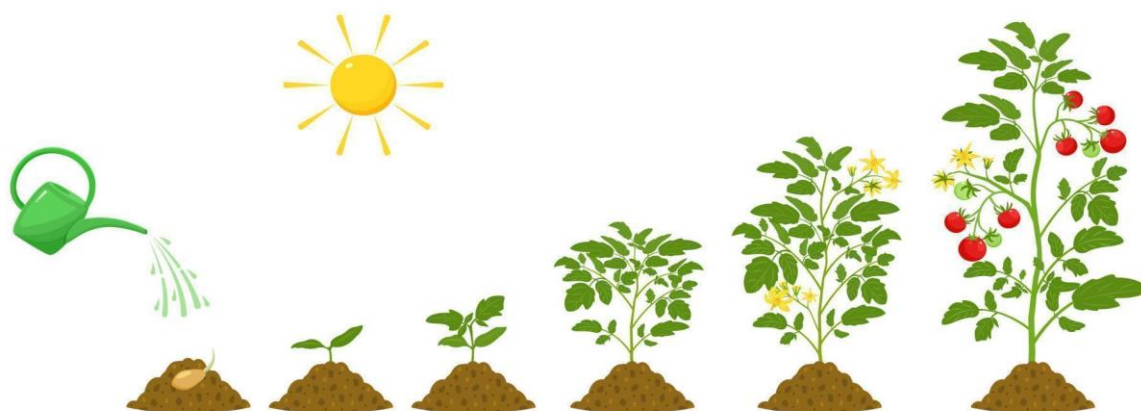


Figura 18. Desarrollo de planta de tomate.

4.14 Bioestimulantes en la Agricultura Moderna

En la búsqueda de una agricultura más sostenible y eficiente, los bioestimulantes han surgido como una herramienta complementaria a la fertilización tradicional y a los productos fitosanitarios. Su modo de acción no se basa en aportar nutrientes directamente ni en combatir plagas, sino en estimular los procesos naturales de la planta.

Definición y Clasificación de los Bioestimulantes

Según el Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo, un **bioestimulante vegetal** es un producto que estimula los procesos de nutrición de las plantas independientemente del contenido de nutrientes del producto, con el único objetivo de mejorar una o varias de las siguientes características de la planta o su rizosfera:

- Eficiencia en el uso de nutrientes.
- Tolerancia al estrés abiótico.
- Características de calidad del producto.
- Disponibilidad de nutrientes inmovilizados en el suelo o la rizosfera.
- Los bioestimulantes se pueden clasificar en varias categorías (Rouphael & Colla, 2020):

Sustancias Húmicas: Ácidos húmicos y fúlvicos, derivados de la descomposición de la materia orgánica. Mejoran la estructura del suelo/sustrato y la absorción de nutrientes. (Rouphael & Colla, 2020)

Extractos de Algas y Plantas: Ricos en compuestos bioactivos como fitohormonas, polisacáridos, polifenoles y aminoácidos. (Rouphael & Colla, 2020)

Aminoácidos y Péptidos: Obtenidos por hidrólisis de proteínas de origen animal o vegetal. Actúan como osmorreguladores, agentes quelantes y precursores de metabolitos. (Rouphael & Colla, 2020)

Microorganismos Benéficos: Incluyen hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés), como *Azospirillum* o *Bacillus*. (Rouphael & Colla, 2020)

Quitosano y otros Biopolímeros: Derivados de la quitina, pueden inducir respuestas de defensa en las plantas. (Rouphael & Colla, 2020)

Sustancias Inorgánicas: Elementos que no son considerados nutrientes esenciales pero que promueven el crecimiento, como el Silicio (Si), el Cobalto (Co) o el Selenio (Se). (Rouphael & Colla, 2020)

Ventajas del Uso de Bioestimulantes

La aplicación de bioestimulantes, cuando se realiza de forma correcta y en el momento adecuado, puede ofrecer múltiples beneficios (Bulgari et al., 2019):

Mejora de la Tolerancia al Estrés Abiótico: Es una de sus funciones más destacadas. Ayudan a la planta a soportar y recuperarse mejor de condiciones de estrés como sequía, salinidad, temperaturas extremas o estrés oxidativo. Lo logran mediante la acumulación de osmolitos, la activación de sistemas de defensa antioxidantes y la modulación de respuestas hormonales.

Aumento de la Eficiencia en el Uso de Nutrientes (NUE): Pueden mejorar la absorción, translocación y asimilación de nutrientes. Por ejemplo, algunos compuestos pueden quelatar micronutrientes, haciéndolos más disponibles para la raíz, o estimular la actividad de enzimas clave en el metabolismo del nitrógeno.

Mejora de la Calidad del Fruto: Se ha demostrado que la aplicación de ciertos bioestimulantes puede incrementar el contenido de azúcares (grados Brix), la firmeza, el contenido de antioxidantes (licopeno, vitamina C) y la vida útil postcosecha de los frutos.

Sinergia con la Fertilización: No reemplazan a los fertilizantes, pero pueden hacer que su uso sea más eficiente, permitiendo potencialmente una reducción en las dosis aplicadas sin mermar el rendimiento, lo que conlleva beneficios económicos y ambientales.

Sostenibilidad: La mayoría de los bioestimulantes son de origen natural y biodegradables, alineándose con los principios de la agricultura sostenible y la producción orgánica.

4.14.1 Desventajas y Limitaciones

A pesar de su gran potencial, el uso de bioestimulantes también presenta desafíos y limitaciones (Yakhin et al., 2017):

Variabilidad en la Respuesta: El efecto de un bioestimulante puede ser muy variable y depender de múltiples factores: la especie y variedad de la planta, la etapa fenológica, la dosis aplicada, las condiciones ambientales y el tipo de estrés presente. Un producto que funciona bien en una situación puede no tener efecto en otra.

Modo de Acción Complejo: A menudo, los bioestimulantes son mezclas complejas de compuestos (ej. extractos de algas) y su modo de acción exacto no siempre está completamente dilucidado, lo que dificulta la optimización de su uso.

Regulación y Estandarización: El mercado de los bioestimulantes ha crecido muy rápidamente, y la regulación no siempre ha ido a la par. Esto puede llevar a la existencia de productos de calidad variable y con

afirmaciones no respaldadas científicamente. La nueva regulación europea (Reglamento 2019/1009) busca solucionar este problema.

Costo: Los bioestimulantes representan un costo adicional en el programa de producción. Su uso debe estar justificado por un aumento demostrable en el rendimiento o la calidad que compense la inversión.

Riesgo de Aplicación Incorrecta: Una dosis inadecuada (tanto por exceso como por defecto) o una aplicación en un momento fenológico incorrecto puede no tener ningún efecto o, en casos raros, incluso ser contraproducente.

Compuestos Bioestimulantes de Interés

Este capítulo se centra en el análisis detallado de tres compuestos específicos que actúan como bioestimulantes y son de gran interés para la producción de jitomate: Triptófano, Poliaminas y Ácido Glutámico.

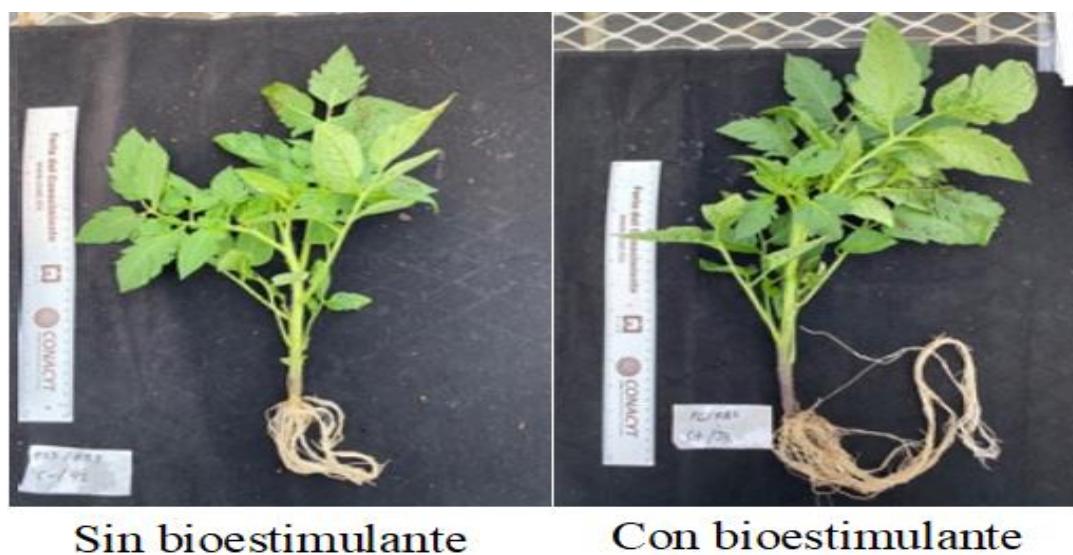


Figura 19. Desarrollo de planta con y sin Bioestimulante.

4.14.2 Triptofano

El L-triptófano es uno de los 20 aminoácidos esenciales que forman las proteínas en todos los seres vivos. En las plantas, además de su función estructural en las proteínas, desempeña un papel crucial como **precursor metabólico** de una amplia gama de metabolitos secundarios, siendo el más importante el **ácido indol-3-acético (AIA)**, la principal auxina natural de las plantas (Zhao, 2018).

Función en la Fisiología Vegetal

La principal función bioestimulante del triptófano aplicado exógenamente radica en su capacidad para ser convertido en auxina por la propia planta o por microorganismos de la rizosfera. Las auxinas regulan procesos vitales del desarrollo vegetal (Leyser, 2018):

Rizogénesis (Formación de raíces): Las auxinas son el principal inductor de la formación de raíces laterales y adventicias. Una aplicación de triptófano en las primeras etapas del cultivo o post-estrés puede estimular un sistema radicular más abundante y explorador, lo que mejora la absorción de agua y nutrientes. (Leyser, 2018)

Elongación Celular: Las auxinas promueven el crecimiento en longitud de los tallos y otros órganos.

Dominancia Apical: Regulan el crecimiento de las yemas laterales.

Desarrollo del Fruto: Juegan un papel importante en el cuajado y crecimiento inicial del fruto.

Además de ser precursor de auxinas, el triptófano también puede actuar como un osmolito compatible, ayudando a la planta a mantener el equilibrio hídrico bajo condiciones de estrés osmótico (Rai, 2017).

Ventajas:

- **Estimulación radicular potente:** Es una de sus aplicaciones más efectivas, mejorando el anclaje y la nutrición de la planta, especialmente después del trasplante.
- **Mejora de la recuperación post-estrés:** Al promover el crecimiento de nuevas raíces, ayuda a la planta a recuperarse de estreses como el anegamiento o la sequía moderada.
- **Acción natural:** La planta utiliza el triptófano para sintetizar sus propias hormonas, lo que se considera un proceso más “suave” que la aplicación directa de auxinas sintéticas.
- **Mejora del cuajado de frutos:** Una aplicación en pre-floración puede mejorar la viabilidad de las flores y el desarrollo inicial del ovario.

Desventajas:

- **Dependencia de la conversión:** Su efecto depende de la capacidad de la planta para convertirlo en AIA, lo cual puede variar según las condiciones.
- **Riesgo de desequilibrio hormonal:** Una sobredosis o una aplicación en un momento inadecuado podría generar un desequilibrio hormonal, causando, por ejemplo, un crecimiento vegetativo excesivo en detrimento de la producción de frutos o fitotoxicidad.
- **Costo:** Como aminoácido purificado, puede tener un costo más elevado que otras alternativas.

4.14.3 Poliaminas

Las poliaminas (Pas) son compuestos orgánicos nitrogenados de bajo peso molecular que están presentes en todas las células vivas. Las tres poliaminas más importantes en las plantas son la **Putrescina**, la **Espermidina** y la **Espermina**. Aunque a veces se las clasifica como una clase de fitohormonas, se consideran más bien **moduladores del crecimiento y el desarrollo** debido a su implicación en una vastísima gama de procesos celulares (Minocha et al., 2016).

Rol en el Desarrollo y Respuesta al Estrés

Las poliaminas están involucradas en casi todos los aspectos de la vida de la planta (Chen et al., 2019):

División y Diferenciación Celular: Son esenciales para el ciclo celular y, por lo tanto, para el crecimiento de meristemos, el desarrollo de órganos y la embriogénesis. (Chen et al., 2019)

Desarrollo Floral y de Frutos: Sus niveles se incrementan durante la floración, el cuajado y las primeras etapas de desarrollo del fruto, indicando un papel clave en estos procesos. (Chen et al., 2019)

Senescencia: La aplicación exógena de poliaminas como la espermidina puede retrasar la senescencia de las hojas y la degradación de la clorofila, manteniendo la planta fotosintéticamente activa por más tiempo. (Chen et al., 2019)

Respuesta al Estrés (Abiótico y Biótico): Este es uno de sus roles más estudiados. Bajo estrés (salinidad, sequía, frío, calor), los niveles endógenos de poliaminas suelen aumentar drásticamente. Actúan de varias maneras:

Estabilizan las membranas celulares, protegiéndolas del daño oxidativo.

Actúan como antioxidantes, eliminando directamente radicales libres. (Chen et al., 2019)

Modulan la expresión de genes relacionados con la respuesta al estrés.

Ventajas y Desventajas de su Aplicación

Ventajas:

Potente efecto anti-estrés: Son muy efectivas para mejorar la tolerancia a una amplia gama de estreses abióticos, especialmente la salinidad y la sequía.

Mejora de la calidad y vida postcosecha: Al retrasar la senescencia y estabilizar las membranas, su aplicación puede mejorar la firmeza y la duración de los frutos después de la cosecha.

Mejora del cuajado y desarrollo del fruto: Aplicaciones en floración pueden mejorar el número de frutos cuajados y su desarrollo inicial.

Amplio espectro de acción: Modulan una gran cantidad de procesos fisiológicos de manera positiva.

Desventajas:

Ventana de aplicación estrecha: Su efecto es altamente dependiente de la dosis y del momento de aplicación. Una dosis incorrecta puede no tener efecto o incluso ser perjudicial.

Interacciones complejas: Su metabolismo está interconectado con el de otras hormonas como el etileno, lo que hace que su efecto neto sea a veces difícil de predecir.

Costo y disponibilidad: Los productos basados en poliaminas purificadas pueden ser caros y menos comunes que otros bioestimulantes. (Yakhin et al., 2017)

4.14.4 Acido glutámico

El L-Ácido Glutámico es otro de los 20 aminoácidos proteinogénicos. Sin embargo, su importancia en la fisiología vegetal va mucho más allá de ser un simple componente de las proteínas. Es el **pilar central del metabolismo del nitrógeno** en las plantas (Forde & Lea, 2017).

Función Central en el Metabolismo del Nitrógeno

La función principal del ácido glutámico como bioestimulante se deriva de su papel metabólico clave:

Asimilación de Nitrógeno: El nitrógeno absorbido por las raíces en forma de nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+) debe ser incorporado a moléculas orgánicas. El ácido glutámico es el primer compuesto orgánico que se forma en este proceso a través del ciclo GS-GOGAT (Glutamina Sintetasa – Glutamato Sintasa). El amonio se une al glutamato para formar glutamina, y luego la glutamina reacciona con α -cetoglutarato para formar dos moléculas de glutamato. (Forde & Lea, 2017).

Precursor de Otros Aminoácidos: Una vez formado, el ácido glutámico actúa como el principal donante de grupos amino para la síntesis de prácticamente todos los demás aminoácidos (prolina, arginina, etc.) a través de reacciones de transaminación. (Forde & Lea, 2017).

Síntesis de Clorofila: El ácido glutámico es el precursor inicial de la molécula de clorofila. Un buen suministro de glutamato es esencial para mantener altas tasas de fotosíntesis. (Forde & Lea, 2017).

Osmo-protección: Es precursor de la prolina, un aminoácido que se acumula en altas concentraciones en las células vegetales bajo estrés hídrico o salino, actuando como un osmolito compatible para proteger a las células de la deshidratación. (Rai, 2017)

Ventajas:

- Ahorro energético para la planta: Al proporcionar ácido glutámico directamente, la planta se ahorra la energía necesaria para sintetizarlo a partir de N inorgánico, pudiendo destinar esa energía a otros procesos como el crecimiento o el llenado de frutos.
- Mejora la eficiencia en el uso del Nitrógeno: Facilita y acelera la asimilación del nitrógeno, especialmente en momentos de alta demanda o bajo condiciones de estrés que puedan limitar el proceso.
- Efecto “Green-up” rápido: Al ser precursor de la clorofila, su aplicación foliar puede generar un efecto visual rápido de reverdecimiento y mejora de la actividad fotosintética.
- Estimulación de la síntesis de otros compuestos beneficiosos: Promueve la producción de otros aminoácidos con funciones anti-estrés, como la prolina. (Rai, 2017)

Desventajas:

- Redundancia potencial: Las plantas sanas y bien fertilizadas son muy eficientes sintetizando su propio ácido glutámico. Por tanto, el beneficio de su aplicación exógena es mayor en plantas bajo algún tipo de estrés o en etapas de demanda metabólica máxima (ej. Llenado de fruto).

- Costo-beneficio: Se debe evaluar si el beneficio obtenido justifica el costo del producto, especialmente en cultivos donde el nitrógeno no es un factor limitante.
- Puede ser suministrado en mezclas: A menudo se encuentra como parte de hidrolizados de proteínas (mezclas de aminoácidos) en lugar de como un producto aislado, lo que puede dificultar la atribución del efecto a un solo compuesto. (Rai, 2017)

4.14.5 Quitosano

El quitosano es un biopolímero natural derivado de la quitina, la cual se encuentra en los exoesqueletos de crustáceos, insectos y en las paredes celulares de algunos hongos. Es un compuesto biodegradable, no tóxico y ampliamente utilizado en agricultura como bioestimulante y elicitor debido a sus propiedades para mejorar el crecimiento de las plantas y activar sus mecanismos de defensa naturales (Malerba & Cerana, 2016).

¿Cómo actúa el quitosano en las plantas?

El quitosano actúa principalmente como elicitor, es decir, como una molécula que activa respuestas defensivas y fisiológicas en las plantas. Sus principales mecanismos de acción son:

Activación de defensas naturales

La planta reconoce el quitosano como una señal de posible ataque patógeno. Esto desencadena:

- Fortalecimiento de las paredes celulares.
- Síntesis de fitoalexinas (compuestos antimicrobianos).
- Activación de rutas de defensa que preparan a la planta para resistir enfermedades causadas por hongos, bacterias y virus.

Estimulación del crecimiento

Además de la defensa, el quitosano favorece:

- Mayor desarrollo radicular.
- Incremento en la absorción de nutrientes.
- Aumento de la fotosíntesis.
- Regulación de hormonas vegetales (como auxinas y giberelinas).

Mejora en la absorción y disponibilidad de nutrientes

Debido a su carga positiva y su capacidad quelante, mejora la retención y disponibilidad de nutrientes en el suelo, permitiendo que la planta los aproveche mejor (Mukhtar et al., 2021).

Ventajas del uso de quitosano

- Estimula las defensas naturales de la planta, reduciendo la incidencia de enfermedades.
- Promueve el crecimiento radicular y el vigor general de la planta.
- Mejora la eficiencia en la absorción de nutrientes.
- Tiene efecto antimicrobiano contra hongos y bacterias.
- Reduce la necesidad de fungicidas y otros agroquímicos.
- Es biodegradable, natural y ecológico, ideal para agricultura sostenible.

Desventajas del quitosano

- Costo elevado, debido a la necesidad de procesos de extracción y purificación.
- La eficacia depende de la calidad del quitosano (grado de desacetilación, peso molecular, pureza).
- Puede haber variabilidad en los resultados si la formulación no es adecuada.
- Falta de regulación específica en muchos países, especialmente cuando se combina con nanotecnología (Mukhtar et al., 2021).

4.14.6 Osmo regulador orgánico Estoma OR

La composición principal de Estoma-OR incluye **glicina betaína, inositol y fructanos**. Estos componentes trabajan en sinergia para proteger a las células vegetales de la deshidratación y reducir el impacto negativo de factores como la sequía, la salinidad, y las temperaturas extremas (tanto altas como bajas). (Rai, 2017)

Glicina Betaína.

Es un compuesto orgánico derivado del aminoácido glicina (químicamente es una amina cuaternaria). En la naturaleza, se encuentra en altas concentraciones en plantas que han evolucionado para sobrevivir en ambientes hostiles, como la remolacha azucarera o las espinacas.

Su función principal es la osmorregulación: ayuda a la célula a retener agua en su interior sin interferir con las reacciones metabólicas normales (por eso se le llama "solute compatible").

Ventajas:

- **Protección de la Fotosíntesis:** Su mayor ventaja es que protege la enzima Rubisco y la estructura de los tilacoides en los cloroplastos. Esto permite que la planta siga haciendo fotosíntesis incluso bajo calor intenso o sequía.
- **Ahorro Energético:** Producir glicina betaína de forma natural le cuesta a la planta mucha energía. Al aplicarla de forma externa, la planta utiliza esa energía ahorrada para el crecimiento y llenado de frutos.
- **Recuperación Rápida:** Las plantas tratadas con este compuesto recuperan su turgencia y ritmo de crecimiento mucho más rápido después de que pasa un periodo de estrés (como un riego retrasado).
- **Estabilidad Térmica:** Ayuda a las proteínas celulares a no "desnaturalizarse" o romperse cuando la temperatura supera los 35-40°C.
- **Cero Toxicidad:** Al ser un soluto compatible, puede acumularse en altas concentraciones dentro de la célula sin dañar las membranas ni los orgánulos.

Desventajas:

- **Movilidad Limitada:** Una vez que entra en la hoja, su transporte hacia otras partes de la planta (como la raíz) puede ser lento. Por ello, la aplicación foliar debe ser muy precisa.
- **Costo de Producción:** Extraerla de fuentes naturales (como la melaza de remolacha) o sintetizarla con alta pureza suele ser más costoso que otros bioestimulantes más simples.

- **Momento de Aplicación Crítico:** Si se aplica cuando la planta ya está en un punto de marchitamiento permanente, su eficacia cae drásticamente. Funciona mucho mejor como preventivo que como correctivo.
- **Efecto Transitorio:** No es una solución permanente. Sus niveles en la planta disminuyen con el tiempo (se metabolizan), por lo que requiere aplicaciones repetidas si el estrés ambiental persiste.

Inositol

Es un polialcohol o azúcar cíclico que se encuentra en todos los organismos vivos. En las plantas, es el punto de partida para la síntesis de moléculas críticas, como el ácido fítico (reserva de fósforo) y compuestos de señalización que le dicen a la planta cómo reaccionar ante el peligro ambiental.

Ventajas:

- **Mensajero de Estrés:** Actúa como un "sensor". Cuando la planta detecta sequía o salinidad, el inositol ayuda a disparar la respuesta de defensa química antes de que el daño sea irreversible.
- **Formación de Paredes Celulares:** Es un precursor de las pectinas y hemicelulosas. Esto significa que ayuda a que las células nuevas sean más fuertes y rígidas, mejorando la estructura física del tallo y los frutos.
- **Desintoxicación Celular:** Ayuda a eliminar los radicales libres (moléculas dañinas) que se producen cuando la planta se estresa por exceso de luz o calor intenso.
- **Transporte de Hormonas:** Facilita el movimiento de las auxinas (hormonas de crecimiento). Una planta con buenos niveles de inositol suele tener un desarrollo de raíces más vigoroso.

- **Reserva de Fósforo:** Es clave para que la planta almacene energía que utilizará durante la floración y el cuajado del fruto.

Desventajas:

- **Sensibilidad a la Luz y Humedad:** Como materia prima en anaquel, el inositol puede ser sensible a condiciones ambientales extremas si no está bien estabilizado en la fórmula comercial (como en el Estoma OR).
- **Competencia Metabólica:** Si la planta tiene un desequilibrio nutricional severo, puede priorizar el uso del inositol para funciones básicas de supervivencia, dejando de lado el fortalecimiento de los frutos.
- **Efecto Indirecto:** A diferencia de la glicina betaína, que retiene agua de forma mecánica y directa, el inositol trabaja más en la "inteligencia" y estructura de la planta, por lo que sus resultados visuales pueden tardar un poco más en notarse.

Fructanos.

Son polímeros de fructosa (cadenas de azúcares) que las plantas utilizan como una forma de almacenamiento de carbohidratos soluble en agua. A diferencia del almidón, que se guarda en los plastidios, los fructanos se almacenan en las vacuolas, lo que les permite estar disponibles de inmediato para regular la presión interna de la célula.

Ventajas:

- **Anticongelante Natural:** Son fundamentales para la tolerancia al frío. Al aumentar la concentración de fructanos en el jugo celular,

el punto de congelación desciende, evitando que se formen cristales de hielo que romperían las membranas de la planta.

- **Osmoprotección Activa:** En condiciones de sequía, los fructanos se hidrolizan (se rompen en azúcares más pequeños), lo que aumenta rápidamente la concentración de solutos para absorber hasta la última gota de humedad disponible en el suelo.
- **Reserva Energética de Emergencia:** Cuando la planta cierra sus estomas por el calor y deja de producir energía vía fotosíntesis, utiliza los fructanos como combustible para mantener vivos sus procesos básicos.
- **Estabilización de Membranas:** Ayudan a mantener la integridad de la bicapa lipídica de las células, evitando que estas se vuelvan "quebradizas" cuando hay deshidratación severa.
- **Salud Radicular:** Favorecen el crecimiento de microorganismos benéficos en la rizosfera (la zona alrededor de la raíz), ya que algunos fructanos actúan como prebióticos para la microbiota del suelo.

Desventajas:

- **Costo Energético de Síntesis:** Para que una planta fabrique sus propios fructanos, requiere un estado nutricional óptimo. Si la planta ya está muy débil, no podrá producirlos por sí misma, de ahí la importancia de la aplicación externa.
- **Complejidad Molecular:** Dependiendo de su estructura (levanos o inulinas), su velocidad de absorción puede variar. En productos comerciales, deben estar bien solubilizados para que la hoja los asimile.
- **Atracción de Plagas (en exceso):** Al ser azúcares, una aplicación foliar mal calibrada o con residuos pegajosos podría atraer insectos

chupadores (como pulgones o mosquita blanca) si no se integra correctamente en la fórmula del bioestimulante.

En Estoma-OR estos tres elementos forman un sistema completo:

- **Glicina Betaína:** Retiene el agua (Escudo hídrico).
- **Inositol:** Envía las señales de defensa (Cerebro celular).
- **Fructanos:** Protege contra el clima extremo y da energía (Reserva térmica).



Figura 20. Estructura química glicina betaína.

V. MATERIALES Y METODOS.

5.1 Ubicación del experimento

La presente investigación se realizó del mes de julio a diciembre de 2025, en un invernadero del Instituto Tecnológico de Tlajomulco, con dirección Km. 10 Carretera Tlajomulco-San Miguel Cuyutlán, Cto. Vicente Fernández Gómez, 45640 Tlajomulco de Zúñiga, Jal.



Figura 21. Ubicación del invernadero.

5.2 Descripción del material vegetal

Para llevar a cabo la investigación en jitomate, seleccionamos la variedad SVTE8444 de Seminis (Vegetables by Bayer).

Este código corresponde a un tomate Saladette híbrido indeterminado. Es una variedad diseñada para producción profesional, priorizando el rendimiento y la calidad del fruto.

- Alta Resistencia (HR): ToMV (Virus del Mosaico del Tomate), Fol (Fusarium razas 1, 2, 3), Va/Vd (Verticillium).
- Resistencia Intermedia (IR): TSWV (Virus del Bronceado), TYLCV (Virus de la Cuchara/Gemini), y Nematodos (Ma, Mi, Mj).
- Continuidad de Cosecha: Al ser de hábito indeterminado, la planta permite ciclos largos de producción (90 días)
- Calidad de Fruto (LSL): Esta variedad destaca por tener paredes gruesas y buena firmeza. Esto se traduce en una Larga Vida de Anaquel (LSL). Lo cual es crucial si necesitas transportar el tomate a distancias largas sin que se ablande o pierda valor comercial.
- Adaptabilidad: El SVTE8444 suele comportarse muy bien en condiciones de estrés moderado.
- Alto Rendimiento: Está diseñado para maximizar las toneladas por hectárea gracias a su capacidad de cuaje continuo y el peso promedio de sus frutos.



Figura 22. Planta variedad SVTE8444.

5.3 Preparación del invernadero

Del 5 al 12 de julio de 2025

- Se comenzó realizando una limpieza general del invernadero, basura, maleza, herramienta, etc.
- Se limpio y se desinfecto las mangueras de riego, filtros y goteros, asi como también de desinfectaron los bolis
- Se hidrataron los bolis durante 30 min



Figura 23. Invernadero limpio.

5.4 Trasplante

Una vez obtenida la planta, se trasplantó el día 12/07/25

- Una hora antes aproximadamente se aplicó un riego general para humedecer el sustrato, 10 minutos.
- Se realizó una inspección general de las plantas, analizando que estuvieran en óptimas condiciones, y detectar algún daño.
- Se trasplanta de manera que, en cada boli, se ubicaran 3 plantas.
- Post trasplante se volvió a encender el riego 10 min.
- Preparamos una mezcla de enraizador, fungicida y insecticida. Imidacloprid 1 ml/ L, Ridomil 1 ml/L y Espinela 5 ml/L. Se aplicó enraizador vía drench, 100 ml por planta.



Figura 24. Trasplante

Se colocó 3 plantas por boli



Figura 25. Distribución de planta.

5.5 Polinización

Colocación e Instalación de Colmena de Abejorros para Optimizar la Polinización y Cuajado de Frutos en Jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) Bajo Condiciones Protegidas.

Fecha y Ubicación:

- Fecha de Realización: 19 de agosto del 2025
- Ubicación: Invernadero de Horticultura, Instituto Tecnológico de Tlajomulco, Jalisco, México.



Figura 26. Colmena de abejorros.

5.6 Nutrición

- **Etapas vegetativa**

El objetivo de un programa de nutrición es satisfacer las demandas específicas de la planta en cada fase de su desarrollo, maximizando el rendimiento y la calidad de la fruta.

Etapas Vegetativa (Desde Transplante hasta Inicio de Floración)

Composición de la Solución: La nutrición se basa en un equilibrio balanceado. Utilizamos **942g de Nitrato de Calcio** en el Tanque A para fortalecer las paredes celulares desde el inicio. En la mezcla incluye **325g de Nitrato de Potasio, 44g de Sulfato de Potasio, 308g de Sulfato de Magnesio y 204g de Fosfato Monopotásico**, complementados con **38g de Micromix**.



Figura 27. Fertilizantes listos para disolver.

Gestión del Nitrógeno (N) y Fósforo (P): El énfasis está en estos dos elementos. El Nitrógeno impulsa el crecimiento de tallos y hojas, mientras que el Fósforo asegura que la raíz explore el sustrato y las primeras flores tengan la energía necesaria para cuajar.

Control Ambiental: Se mantiene una Conductividad Eléctrica (CE) moderada de 1.8 a 2.2 dS/m para evitar el estrés osmótico en plántulas jóvenes, con un pH controlado entre 5.5 y 6.5 para garantizar que todos los nutrientes estén disponibles químicamente.

- **Etapas de fructificación**

Etapas de Fructificación (Desde Cuajado de Primeros Frutos hasta Cosecha)

Objetivo Principal: Sostener el llenado y desarrollo de los frutos sin descuidar el vigor de la planta, priorizando el aporte de Potasio y Calcio.

Actividades Realizadas:

Cambio en la Formulación Nutricional: Se ajustó la solución nutritiva para reducir ligeramente el Nitrógeno y aumentar significativamente el Potasio (K).

Ajuste de la Fórmula (Incremento Estratégico): Para sostener la demanda de los frutos, elevamos la concentración de Potasio (\$K\$) y Calcio (\$Ca\$). Se recomienda aumentar el **Nitrato de Calcio a 1,100g** y el **Nitrato de Potasio a 450g**. El **Sulfato de Potasio se incrementa a 80g** para aportar el extra de potasio necesario para el transporte de azúcares. El magnesio y el fósforo se mantienen en niveles estables (**300g y 220g respectivamente**) para no descuidar la salud de la planta.

Prioridad del Potasio (\$K\$): El potasio actúa como un transportador. Su aumento significativo es vital para que los carbohidratos viajen de las hojas al fruto, mejorando directamente el color, la firmeza y la vida de anaquel.

Estrategia de Conductividad: Se eleva la CE a un rango de **2.5 a 3.5 dS/m**. Esta mayor salinidad controlada genera una ligera presión en la planta que la obliga a concentrar más sólidos solubles en el fruto, resultando en una mejor calidad organoléptica.

Soporte Metabólico: Debido a que la carga de fruto genera un alto estrés oxidativo, se incorporan aminoácidos y extractos de algas. Estos bioestimulantes ayudan a la planta a mantener sus procesos activos incluso bajo altas temperaturas o altas demandas energéticas.

Monitoreo Intensivo:

Se incrementó la frecuencia del monitoreo de pH y CE en el drenaje para detectar acumulación de sales. Para medir el pH de drenaje, se colocó vasos pequeños, por el drenaje de los bolis, hasta obtener el vaso casi lleno con agua que se ha filtrado. Después colocamos el potenciómetro para medir el pH.



Figura 28. Medición de solución de salida.

5.7 Riegos

Durante la etapa vegetativa los riegos eran de 10 minutos por día.

En la etapa de fructificación se colocó el riego automático, se realizaban 3 riegos por día el primero era a las 7:00 am con 5 minutos de riego. El segunda a las 12:00 pm con 5 minutos de riego y el ultimo riego a las 5:00 pm con 4 minutos de riego.

5.8 Tratamientos

TRATAMIENTO	BIOESTIMULANTE	DOSIS POR LITRO
T1	GLUTAMICO + TRIPTOFANO + STOMA	AC GLUTAMICO 1 gr/L
		TRIPTOFANO 1 gr/L
		STOMA-OR 5ml/L
T2	CHRONOS - POLIAMINAS	CHRONOS 2.5ml/L
T3	QUITOSANO	QUITOSANO 10ml/L
T4	CHRONOS + STOMA-OR	CHRONOS 2.5ml/L
		STOMA-OR 5ml/L

Tabla 1. Tratamientos que se realizaron.

5.8.1 Croquis de tratamientos

CROQUIS DISTRIBUCION PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS												
			BOLIS 1	BOLIS 2	BOLIS 3	BOLIS 4	BOLIS 5	BOLIS 6	BOLIS 7	BOLIS 8		
TINACO	BI									TESTIGO		
	BII											
	BIII											
	BIV											
	BV											
	B1	T1	T2	T3	T4							BIOESTIMULANTES
	B2	T4	T3	T2	T1							
	B3	T2	T4	T1	T3							
	B4	T3	T1	T4	T2							
	B5	T1	T2	T3	T4							

Tabla 2. Distribución de aplicaciones de bioestimulantes.

5.8.2 Aplicación de tratamientos

La implementación de bioestimulantes se ha consolidado como una estrategia clave en la agricultura moderna de jitomate, enfocada en optimizar la eficiencia de los cultivos, mejorar la calidad del fruto y promover la sostenibilidad. A diferencia de los fertilizantes, cuyo rol es nutricional, los bioestimulantes son sustancias o microorganismos que,

aplicados en pequeñas dosis, actúan directamente sobre la fisiología de la planta, sin importar su contenido de nutrientes.

Los tratamientos se comenzaron a aplicar el día Sábado 09 de agosto del 2025, las aplicaciones se realizaban cada 15 días para lograr una mayor eficacia.

Fecha	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
09/08/2025	●	●	●	●
23/08/2025	●	●	●	●
06/09/2025	●	●	●	●
20/09/2025	●	●	●	●
04/10/2025	●	●	●	●
18/10/2025	●	●	●	●
01/11/2025	●	●	●	●
15/11/2025	●	●	●	●
29/11/2025	●	●	●	●

Tabla 3. Fecha de aplicación de bioestimulantes.

La aplicación se realizó por tratamiento, colocábamos una lona detrás de la planta para no salpicar a las demás plantas.



Figura 29. Aplicación de Tratamiento.

5.9 Variable a evaluar

La evaluación de la eficacia de cualquier bioestimulante en la producción agrícola requiere la selección rigurosa de variables que permitan cuantificar objetivamente su impacto. En el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*), dichas variables se clasifican en tres categorías principales: Rendimiento, Crecimiento/Fisiología y Calidad Poscosecha.

5.9.1 Variables de Crecimiento y Fisiología Vegetal

Para evaluar el desarrollo y potencial productivo del cultivo, se realizaron muestreos periódicos mediante inspección visual directa y el uso de instrumentos de medición de precisión. El levantamiento de datos se llevó a cabo planta por planta, siguiendo un orden sistemático para garantizar la fidelidad de la información.

- **Altura de la planta:** Se determinó utilizando un flexómetro graduado en milímetros. La medición se realizó de forma vertical, partiendo desde el cuello de la raíz (ras del sustrato) hasta el ápice vegetativo (punta de crecimiento) de la planta.



Figura 30. Medición de planta.

- **Diámetro o grosor del tallo:** Se midió con un vernier digital (calibrador de precisión) para obtener lecturas exactas en milímetros. La medición se efectuó en el entrenudo ubicado por debajo del primer racimo floral, manteniendo siempre el mismo punto de referencia para asegurar la comparabilidad de los datos a lo largo del ciclo.



Figura 31. Medición de tallo.

5.9.2. Variables de Rendimiento y Reproducción

Estas variables permiten determinar la eficacia del tratamiento en la capacidad productiva del cultivo. **El 2 de agosto** se encontraron los primeros racimos florales. El conteo de estas variables se realizó de manera manual y visual, registrando los datos en bitácoras de campo conforme se identificaba cada órgano en la arquitectura de la planta:

Chupones (Brotos axilares): Son los brotes secundarios que emergen en la axila (ángulo entre el tallo principal y la hoja). Su identificación es clave para las labores de poda, ya que compiten por nutrientes con el tallo principal.



Figura 32. Chupón de planta.

Racimos: Se define como la estructura o inflorescencia donde se agrupan las flores. Se identifican como brotes que nacen directamente del tallo principal, diferenciándose de las hojas por su morfología ramificada destinada a la carga de fruto.



Figura 33. Racimo de planta.

Flores: Se contabilizaron únicamente las flores antésicas (completamente abiertas y funcionales). Se identifican por su color amarillo intenso y pétalos extendidos, lo que indica que están listas para la polinización.



Figura 34. Flor de planta.

Frutos: Se consideró como fruto a toda estructura después del cuajado, es decir, cuando el ovario de la flor ha comenzado a ensanchar tras la fecundación, presentando un color verde inicial y una forma definida.



Figura 35. Fruto de planta.

23 - Agosto - 2025

B5								B4								B3								B2								B1												
Tratamiento	Bolsa	Planta	Altura	Tallo	Chopones	Racimos	Flóres	Frutos	Tratamiento	Bolsa	Planta	Altura	Tallo	Chopones	Racimos	Flóres	Frutos	Tratamiento	Bolsa	Planta	Altura	Tallo	Chopones	Racimos	Flóres	Frutos	Tratamiento	Bolsa	Planta	Altura	Tallo	Chopones	Racimos	Flóres	Frutos	Tratamiento	Bolsa	Planta	Altura	Tallo	Chopones	Racimos	Flóres	Frutos
1	1	1.30	1.28	10	7	8	4		3	1	1.12	1.3	9	5	8	4		2	1	1.15	1.3	10	8	11	4		4	1	1.14	1.19	6	5	9	5		1	1	1.12	1.2	7	6	12	6	
	2	1.16	1.32	8	5	5	0			2	1.23	1.3	9	5	9	3			2	1.13	1.30	7	4	7	2			2	1.13	1.30	7	4	7	2			2	1.24	1.42	9	7	10	4	
	3	1.30	1.49	9	7	10	3			3	1.23	1.3	10	5	9	5			3	1.25	1.3	7	6	11	5			3	1.26	1.33	6	3	8	5			3	1.17	1.21	8	6	16	2	
	4	1.34	1.30	8	5	6	3			4	1.30	1.3	10	5	11	6			4	1.10	1.3	4	3	7	2			4	1.13	1.21	8	5	9	4			4	1.26	1.29	8	6	10	2	
2	1	1.23	1.4	7	2	1	0		1	1	1.10	1.48	3	10	4		4	1	1.10	1.3	8	4	5	3		3	1	1.14	1.43	10	5	10	4		2	1	1.16	1.13	7	7	14	4		
	2	1.30	1.4	8	4	8	2			2	1.18	1.55	6	3	7	2		2	1.10	1.3	5	3	4	0		2	1.40	1.23	10	5	12	4		2	1.17	1.18	10	5	11	3				
	3	1.35	1.52	10	7	10	3			3	1.16	1.27	6	4	7	3		3	1.12	1.3	8	5	10	4		3	1.15	1.22	10	2	6	10		3	1.10	1.16	8	7	12	4				
	4	1.37	1.58	8	7	11	3			4	1.16	1.43	8	6	11	4		4	1.10	1.4	8	6	10	2		4	1.18	1.34	12	7	13	3		4	1.13	1.31	11	7	10	4				
3	1	1.10	1.34	11	4	5	3		4	1	1.10	1.47	10	4	10	1		5	1	1.13	1.3	10	9	11	4		2	1	1.12	1.27	6	5	9	1		3	1	1.12	1.27	7	5	8	0	
	2	1.14	1.54	9	4	4	0			2	1.12	1.4	8	4	9	2			2	1.15	1.3	5	6	7	4			2	1.15	1.31	9	6	10	3			2	1.13	1.4	10	6	8	4	
	3	1.18	1.36	9	6	6	3			3	1.15	1.3	10	4	11	4			3	1.12	1.3	12	5	9	3			3	1.10	1.33	7	5	8	5			3	1.15	1.14	10	7	7	1	
	4	1.23	1.55	5	4	7	3			4	1.15	1.4	7	4	10	3			4	1.15	1.4	10	6	13	3			4	1.18	1.106	8	7	8	5			4	1.12	1.10	10	5	11	2	
4	1	1.15	1.39	8	7	10	3		2	1	1.23	1.4	9	4	9	2		3	1	1.10	1.3	9	4	8	3		1	1	1.15	1.23	5	5	7	0		4	1	1.11	1.15	13	13	16	4	
	2	1.14	1.3	8	4	6	3			2	1.18	1.3	9	4	9	3			2	1.10	1.3	8	4	11	3			2	1.18	1.26	5	3	9	0			2	1.15	1.23	9	6	7	0	
	3	1.10	1.3	12	6	9	3			3	1.11	1.27	7	5	5	1			3	1.11	1.3	4	3	3	0			3	1.16	1.18	5	3	7	3			3	1.14	1.34	9	7	14	4	
	4	1.16	1.3	7	4	7	2			4	1.10	1.39	10	5	10	4			4	1.16	1.3	10	8	8	2			4	1.16	1.13	13	7	9	4			4	1.11	1.13	7	8	12	7	

Figura 36. Bitácora de registro de datos.

5.9.3. Metodología de Medición de Variables

La toma de datos se realizó de manera sistemática y bajo un rigor científico para garantizar la trazabilidad de los resultados. El proceso se describe a continuación:

- **Diseño Experimental:** Se utilizó un **Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA)**. Las plantas se agruparon en bloques homogéneos para controlar la variabilidad externa y asegurar que las diferencias detectadas se debieran a los tratamientos aplicados.
- **Frecuencia de Medición:** Las variables morfo-fisiológicas (altura y diámetro de tallo) se midieron a **intervalos regulares** durante el ciclo del cultivo.

- **Procedimiento por Variable:**

- **Altura de Planta:** Medida en centímetros (cm) desde la base hasta el meristemo apical. Medimos con flexometro
- **Diámetro del Tallo:** Medido en centímetros (cm) utilizando herramientas de precisión para evaluar el grosor y robustez. Medimos con vernier digital.
- **Chupones, Racimos, Flores y Frutos:** Se realizaron mediante **conteo directo** en cada una de las plantas seleccionadas por tratamiento y bloque.

5.9.4. Variables de Rendimiento y Componentes del Rendimiento

La **variable primaria de respuesta** es el **Rendimiento Total del Fruto**, expresado en kilogramos por metro cuadrado (kg/m^2) o toneladas por hectárea (t/ha). Esta variable constituye el indicador económico y agronómico fundamental.

5.9.5. Diseño experimental

Bloques al Azar (o, más formalmente, el Diseño de Bloques Completos al Azar, DBCA) son una técnica fundamental en el diseño experimental utilizada para aumentar la precisión y la validez de las comparaciones entre tratamientos. En estadística y diseño de experimentos, un bloque al azar es una agrupación de unidades experimentales (parcelas de terreno, animales, turnos de trabajo, etc.) que se asume que son homogéneas entre sí. Montgomery, D. C. (2017).

El propósito principal de crear estos bloques es controlar y aislar la variabilidad que no se debe a los tratamientos que se están probando, sino a una fuente de variación externa y conocida (el factor de bloqueo).

- **Bloque:** Un grupo de unidades experimentales que son muy similares entre sí, pero que difieren de las unidades de otros bloques.
- **Principio:** Cada bloque contiene **todos** los tratamientos (de ahí el término "completo") y la asignación de los tratamientos dentro de cada bloque se realiza de forma **aleatoria** ("al azar").
- **Efecto Estadístico:** Al considerar la variación entre bloques como un factor dentro del modelo de Análisis de Varianza (ANOVA), se logra sustraer o remover esa variabilidad del error experimental. Esto hace que el error residual sea menor, aumentando la sensibilidad de la prueba para detectar diferencias reales entre los tratamientos. Montgomery, D. C. (2017).

5.10 Modelo estadístico

El modelo estadístico lineal para el DBCA separa la variación total de los datos en tres fuentes principales:

$$Y_{yo} = \mu + \tau_i + \beta_{yo} + \varepsilon_{yo}$$

VI. RESULTADOS Y DISCUSION.

Los datos obtenidos de las variables evaluadas realizaron un ANOVA y prueba de medias con Tukey (<0.05) por fecha evaluada los resultados son los siguientes.

6.1 Altura de Planta

Del ANOVA (**Tabla 6**) realizado, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las fechas evaluadas, pero, al analizar prueba de medias se puede concluir que el **Tratamiento 4** a base de **Cronos + Estoma OR** fue el que obtuvo un mayor crecimiento longitudinal del tallo, logrado por la sinergia entre la señalización hormonal y la fuerza física de expansión celular; "**Chronos**" aportó auxinas y citocininas, promoviendo activamente la división en los meristemos apicales. Por otro lado, "**Estoma OR**" aportó Potasio (K) y compuestos osmoprotectores como la glicinbetaína, los cuales incrementaron la acumulación de solutos vacuolares para generar una alta presión de turgencia. Esta combinación de biostimulantes, **Chronos + Estoma OR**, optimizó los procesos fisiológicos y la asimilación de agua, permitiendo una elongación celular superior en el cultivo (Rouphael & Colla, 2020).

Tratamiento	Altura Fecha 1			Altura Fecha 2			Altura Fecha 3			Altura Fecha 4		
	Media	% Diferencia	Grupo	Media	% Diferencia	Grupo	Media	% Diferencia	Grupo	Media	% Diferencia	Grupo
T1	101.50	2.3%	A	126.45	0.94%	A	141.16	0.00%	A	160.85	0.49%	A
T2	101.25	2.5%	A	126.15	1.18%	A	138.95	1.57%	A	158.50	1.95%	A
T3	103.50	0.3%	A	127.30	0.27%	A	140.45	0.50%	A	159.25	1.48%	A
T4	103.85	0.0%	A	127.65	0.00%	A	140.80	0.26%	A	161.65	0.00%	A
CV	2.83			1.90			1.42			1.51		

Tabla 6. ANOVA y Prueba de medias para la variable "**Altura**" en centímetros (cm).

En la **Figura 26** se observa la dinámica de desarrollo de la planta, observándose que el **Tratamiento 4** mostró mayor altura durante el ciclo.

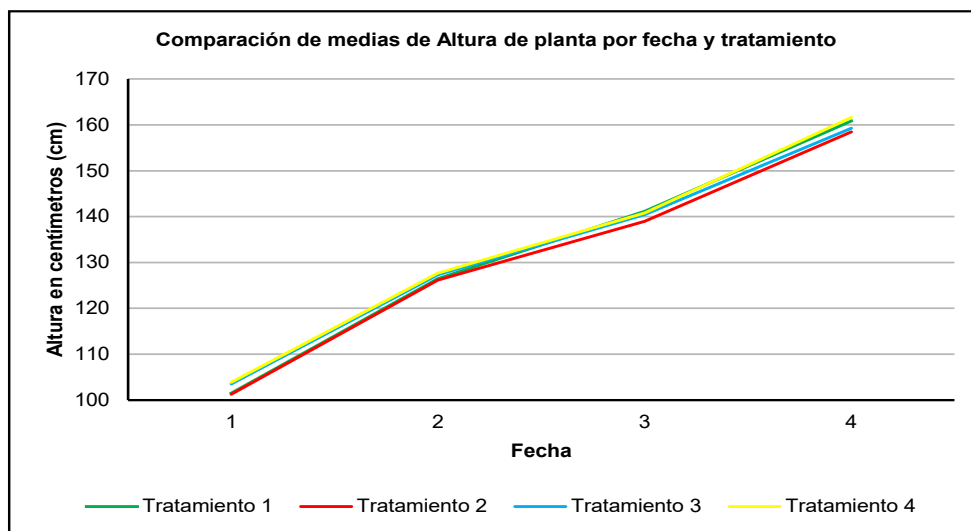


Figura 26. Gráfico de comparación de medias para la variable de Altura para cada fecha de toma de datos.

6.2 Tallo

Del ANOVA (**Tabla 7**) realizado, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las fechas evaluadas, pero, al analizar prueba de medias se puede concluir que el **Tratamiento 4** a base de **Chronos + Estoma OR** fue el que obtuvo un mayor grosor del tallo mantenido durante la mayor parte del ciclo, lo anterior responde a una estimulación activa del cambium vascular y al fortalecimiento de los nuevos tejidos. Las hormonas aportadas por el tratamiento "**Chronos**"; auxinas y citocininas indujeron la diferenciación celular del xilema y floema secundarios, engrosando los conductos vasculares. Simultáneamente, el aporte de Calcio y Boro del producto "**Estoma OR**" resultó fundamental, ya que estos elementos estructurales se integran directamente en la pared celular y la lámina media, dotando de rigidez, estabilidad y un mayor diámetro a los tejidos en expansión de la planta de jitomate (Sajid et al., 2020).

Tratamiento	Tallo Fecha 1			Tallo Fecha 2			Tallo Fecha 3			Tallo Fecha 4		
	Media	% Diferencia	Grupo	Media	% Diferencia	Grupo	Media	% Diferencia	Grupo	Media	% Diferencia	Grupo
T1	1.19	7.75%	A	1.36	0.00%	A	1.38	1.43%	A	1.41	1.40%	A
T2	1.21	6.20%	A	1.36	0.00%	A	1.40	0.00%	A	1.43	0.00%	A
T3	1.18	8.53%	A	1.34	1.47%	A	1.36	2.86%	A	1.40	2.10%	A
T4	1.29	0.00%	A	1.36	0.00%	A	1.40	0.00%	A	1.42	0.70%	A
CV	9.31			2.98			2.58			2.31		

Tabla 7. ANOVA y Prueba de medias para la variable "**Tallo**" en centímetros (cm).

En la **Figura 27** se observa la dinámica de desarrollo de la planta, observándose que el **Tratamiento 4** mostró un mayor grosor de tallo durante el ciclo para las primeras tres fechas, aunque, en la fecha 4, el **Tratamiento 2** a base de **Chronos + Poliaminas**, supera al **Tratamiento 4**.

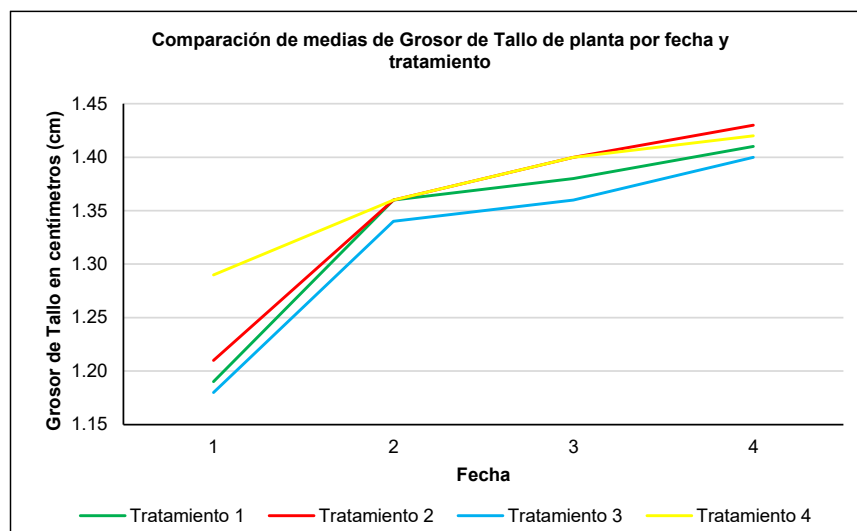


Figura 27. Gráfico de comparación de medias para la variable de **Tallo** para cada fecha de toma de datos.

6.3 Chupones

Del ANOVA (**Tabla 8**) realizado, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las fechas evaluadas, se puede observar que a la fecha 4, todos los tratamientos muestran una media similar a diferencia del **Tratamiento 1** a base de **Ácido Glutámico + Triptófano + Estoma OR** que sobresale del resto. La emisión masiva de chupones en este tratamiento se debe a un estado de vigor vegetativo provocado por la alta disponibilidad de nitrógeno orgánico. El **ácido glutámico** interviene directamente en la asimilación de nitrógeno y en los procesos de transaminación, actuando como un suministro rápido de energía y esqueletos carbonados. Al ingresar exógenamente a la planta, este excedente metabólico rompe el equilibrio de la dominancia apical, forzando a la planta a generar nuevos sumideros vegetativos laterales (brotes axilares) para canalizar el aumento de recursos asimilados, muchos de ellos proporcionados por el biostimulante "**Estoma OR**" (Teixeira et al., 2017).

Tratamiento	Chupones Fecha 1			Chupones Fecha 2			Chupones Fecha 3			Chupones Fecha 4		
	Media	% Diferencia	Grupo	Media	% Diferencia	Grupo	Media	% Diferencia	Grupo	Media	% Diferencia	Grupo
T1	4.50	13.46%	A	8.05	0.00%	A	8.95	1.10%	A	9.95	0.00%	A
T2	4.75	8.65%	A	7.95	1.24%	A	8.85	2.21%	A	9.40	5.53%	A
T3	5.05	2.88%	A	7.75	3.73%	A	9.05	0.00%	A	9.35	6.03%	A
T4	5.20	0.00%	A	7.65	4.97%	A	8.90	1.66%	A	9.20	7.54%	A
CV	8.05			9.26			6.18			5.84		

Tabla 8. ANOVA y Prueba de medias para la variable “**Chupones**”.

En la **Figura 28** se observa la dinámica de desarrollo de la planta, observándose que a la fecha 4, el **Tratamiento 1** sobresalió del resto en cuanto a número de chupones.

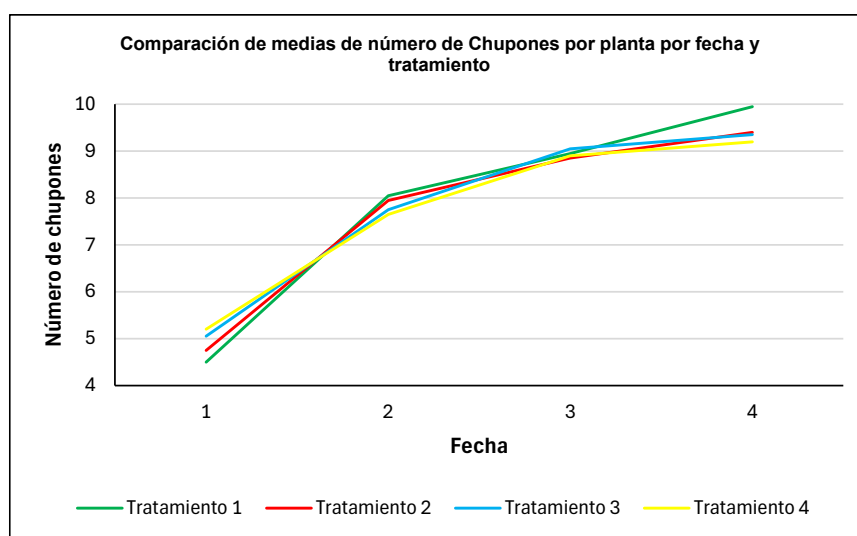


Figura 28. Gráfico de comparación de medias para la variable de **Chupones** para cada fecha de toma de datos.

6.4 Racimos

Del ANOVA (**Tabla 9**) realizado, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las fechas evaluadas, pero, al analizar prueba de medias se puede concluir que el **Tratamiento 1** a base de **Ácido Glutámico + Triptófano + Estoma OR** fue el que obtuvo un mejor desempeño a diferencia de los otros tres tratamientos. La superioridad en la inducción de racimos reproductivos está estrechamente ligada a la eficiencia metabólica brindada por los aminoácidos libres. La asimilación rápida del **ácido glutámico** mejora la síntesis de clorofila y potencia la tasa fotosintética, proporcionando a la planta el gran gasto energético que requiere la transición de yemas

vegetativas a florales. Asimismo, el efecto promotor del **triptófano**, en sinergia con micronutrientes estructurales presentes en la aplicación proporcionada por el bioestimulante "**Estoma OR**", acelera la aparición de estructuras reproductivas de manera continua, evitando la caída temprana de botones y favoreciendo la formación de racimos (Al-Karaki & Othman, 2023).

Tratamiento	Racimos Fecha 1			Racimos Fecha 2			Racimos Fecha 3			Racimos Fecha 4		
	Media	% Diferencia	Grupo	Media	% Diferencia	Grupo	Media	% Diferencia	Grupo	Media	% Diferencia	Grupo
T1	3.85	15.38%	A	5.35	0.00%	A	7.00	0.00%	A	7.80	0.00%	A
T2	4.00	12.09%	A	5.05	5.61%	AB	6.50	7.14%	A	7.45	4.49%	A
T3	4.30	5.49%	A	4.60	14.02%	AB	6.50	7.14%	A	7.60	2.56%	A
T4	4.55	0.00%	A	4.50	15.89%	B	4.45	36.43%	A	7.75	0.64%	A
CV	19.41			8.78			6.09			5.82		

Tabla 9. ANOVA y Prueba de medias para la variable "**Racimos**".

En la **Figura 29** se observa la dinámica de desarrollo de la planta, observándose que el **Tratamiento 1** mostró mayor número de racimos durante el ciclo.

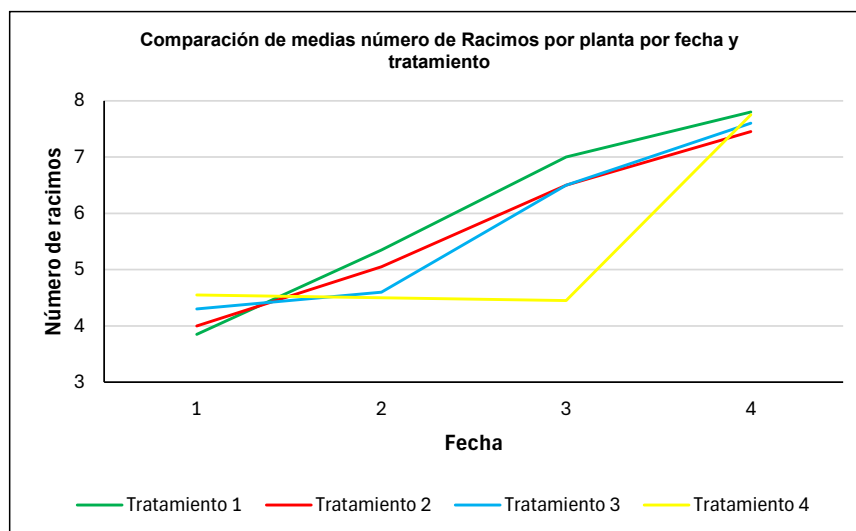


Figura 29. Gráfico de comparación de medias para la variable de **Racimos** para cada fecha de toma de datos.

6.5 Flores

Del ANOVA (**Tabla 10**) realizado, se encuentran diferencias significativas para el **Tratamiento 2** a base de **Chronos + Poliaminas** y **Tratamiento 3** a base de **Quitosano**. El mejor desempeño fue el

mostrado por el **Tratamiento 1** a base de **Ácido Glutámico + Triptófano + Estoma OR**.

El factor determinante para la gran estabilidad y retención de flores fue el uso del producto "**Estoma OR**", debido a su capacidad de mitigación de estrés y soporte nutricional crítico en el ovario, los aminoácidos: **Ácido glutámico + Triptofano**, aportaron energía. Los compuestos como la glicinbetaína actuaron previniendo la deshidratación de los tejidos florales bajo el estrés térmico del invernadero. Al mismo tiempo, el Boro (B) contenido en esta formulación jugó su papel como micronutriente clave para la viabilidad del polen, la germinación del tubo polínico y el cuajado inicial; previniendo fallas de fecundación que son la principal causa de la síntesis de etileno y el posterior aborto floral (Zribi et al., 2021).

Tratamiento	Flores Fecha 1			Flores Fecha 2			Flores Fecha 3			Flores Fecha 4		
	Media	% Diferencia	Grupo	Media	% Diferencia	Grupo	Media	% Diferencia	Grupo	Media	% Diferencia	Grupo
T1	5.95	3.25%	A	9.35	0.00%	A	11.40	0.00%	A	9.90	5.26%	A
T2	6.15	0.00%	A	9.10	2.67%	A	10.35	9.21%	AB	10.10	3.35%	A
T3	6.05	1.63%	A	9.10	2.67%	A	10.30	9.65%	AB	10.45	0.00%	A
T4	5.40	12.20%	A	8.65	7.49%	A	9.80	14.04%	B	10.35	0.96%	A
CV	12.55			9.13			6.39			11.33		

Tabla 10. ANOVA y Prueba de medias para la variable "**Flores**".

En la **Figura 30** se observa la dinámica de desarrollo de la planta, observándose que el **Tratamiento 2 y Tratamiento 3** muestran un pico para la fecha 3, sin embargo, para la fecha 4 se tiene una caída marcada para ambos tratamientos (aborte floral).

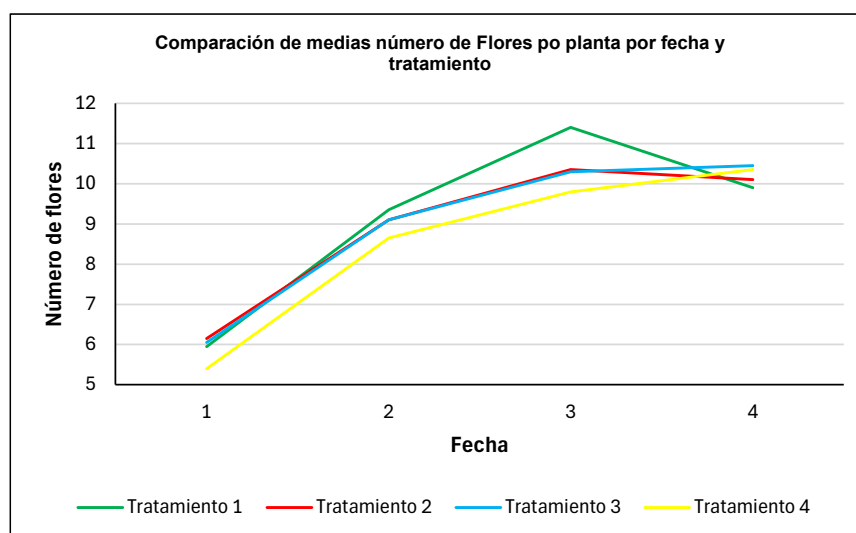


Figura 30. Gráfico de comparación de medias para la variable de **Flores** para cada fecha de toma de datos.

6.6 Frutos

Del ANOVA (**Tabla 11**) realizado, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las fechas evaluadas, pero, al analizar prueba de medias se puede concluir que el **Tratamiento 1** a base de **Ácido Glutámico + Triptófano + Estoma OR** fue el que obtuvo un mejor desempeño a diferencia de los otros tres tratamientos, resultado de una respuesta fisiológica sinérgica entre sus tres componentes. Inicialmente, el **ácido glutámico** optimizó la viabilidad del polen y la fecundación, además de facilitar la asimilación de nitrógeno necesario para el desarrollo inicial del ovario (Ramírez-Cruz et al., 2022).

Posteriormente, el **L-triptófano** actuó como precursor directo del ácido indol-3-acético (AIA), proporcionando las altas concentraciones locales de auxinas requeridas para activar la división celular del cuajado y suprimir la formación de capas de abscisión en el pedicelo, evitando así la caída prematura en el racimo (Zhao, 2018). Finalmente, la aplicación del bioestimulante comercial **Estoma OR** respaldó la retención de este alto número de frutos al mantener una regulación estomática eficiente; esto garantizó una tasa ininterrumpida de fijación de CO₂ y un flujo constante de fotoasimilados, proporcionando la energía metabólica indispensable para sostener el crecimiento de los frutos sin inducir un déficit de carbohidratos en la planta (Bulgari et al., 2019).

Tratamiento	Frutos F2			Frutos F3			Frutos F4		
	Media	% Diferencia	Grupo	Media	% Diferencia	Grupo	Media	% Diferencia	Grupo
T1	3.60	0.00%	A	7.90	0.00%	A	11.85	0.00%	A
T2	3.25	9.72%	A	7.45	5.70%	A	11.70	1.27%	A
T3	3.15	12.50%	A	7.85	0.63%	A	11.30	4.64%	A
T4	2.85	20.83%	A	7.80	1.27%	A	10.60	10.55%	A
CV	12.47			10.74			12.34		

Tabla 11. ANOVA y Prueba de medias para la variable “**Frutos**”.

En la **Figura 31** se observa la dinámica de desarrollo de la planta, observándose que el **Tratamiento 1** mostró mayor altura durante el ciclo.

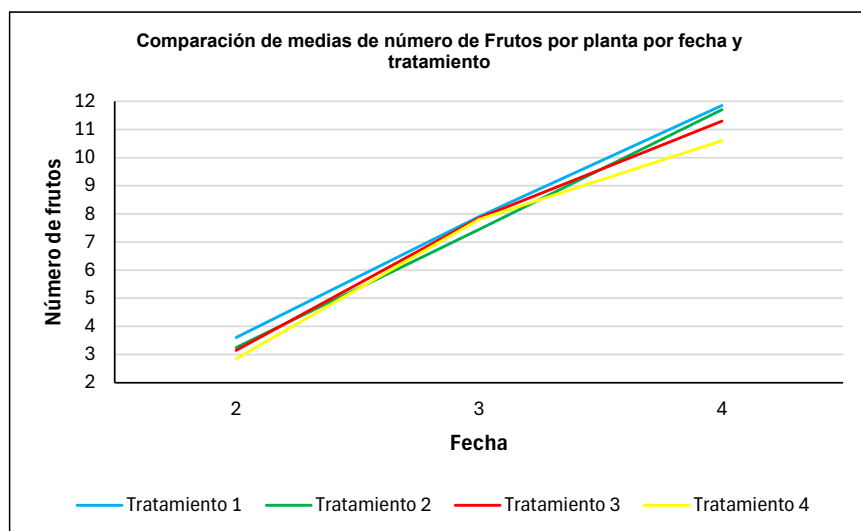


Figura 31. Gráfico de comparación de medias para la variable de **Frutos** para cada fecha de toma de datos.

6.7 Cosecha

Del ANOVA (**Tabla 12**) realizado, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las fechas evaluadas.

Tratamiento	Corte 1		Corte 2		Corte 3		Corte 4		Corte 5		Corte 6		Corte 7		Corte 8		Corte 9	
	Media	Grupo	Media	Grupo	Media	Grupo	Media	Grupo	Media	Grupo	Media	Grupo	Media	Grupo	Media	Grupo	Media	Grupo
T1	219.80	A	969.40	A	2884.80	A	4913.60	A	1204.40	A	980.00	A	1539.00	A	980.00	A	1319.00	T1
T2	225.97	A	937.80	A	2650.00	A	4709.20	A	1428.00	A	628.20	A	1198.60	AB	628.20	A	1884.80	T2
T3	223.28	A	910.40	A	2551.80	A	4961.20	A	1249.20	A	663.60	A	1312.20	AB	663.60	A	1537.20	T3
T4	200.97	A	914.60	A	2672.20	A	5071.00	A	1245.20	A	850.60	A	871.80	B	850.60	A	1803.00	T4
CV	48.00		40.45		26.92		12.59		20.07		49.23		28.36		49.23		29.30	

Tabla 12. ANOVA y Prueba de medias para la variable "**Cosecha**" en gramos (g).

En la **Figura 32** se observa la dinámica de desarrollo de la planta durante el ciclo.

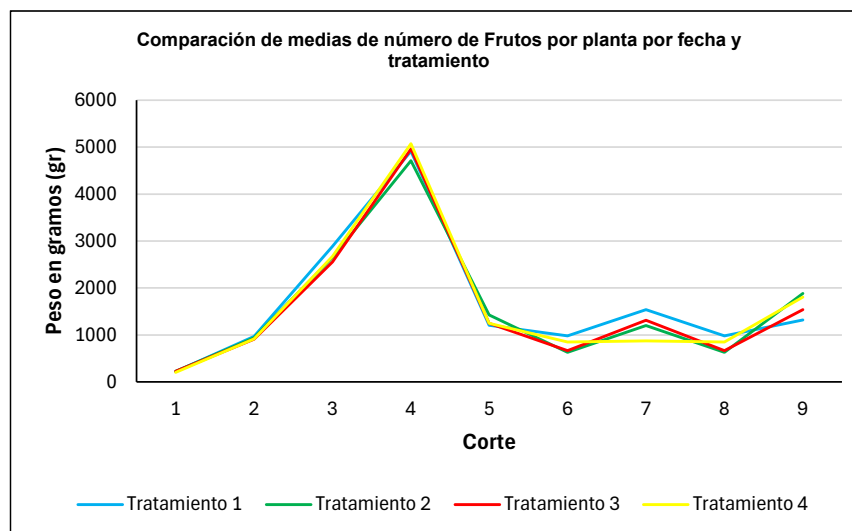


Figura 32. Gráfico de comparación de medias para la variable de Cosecha para cada fecha de toma de datos.

En la **Tabla 13** se muestran las diferencias entre cada media, considerando el valor mayor y estableciendo el porcentaje de diferencia con el resto de los resultados para cada fecha.

Tratamiento	Corte 1		Corte 2		Corte 3		Corte 4		Corte 5		Corte 6		Corte 7		Corte 8		Corte 9	
	Media	% Diferencia	Media	% Diferencia	Media	% Diferencia	Media	% Diferencia	Media	% Diferencia	Media	% Diferencia	Media	% Diferencia	Media	% Diferencia	Media	% Diferencia
T1	219.80	2.73%	969.40	0.00%	2884.80	0.00%	4913.60	3.10%	1204.40	15.66%	980.00	0.00%	1539.00	0.00%	980.00	0.00%	1319.00	30.02%
T2	225.97	0.00%	937.80	3.26%	2650.00	8.14%	4709.20	7.13%	1428.00	0.00%	628.20	35.90%	1198.60	22.12%	628.20	35.90%	1884.80	0.00%
T3	223.28	1.19%	910.40	6.09%	2551.80	11.54%	4961.20	2.17%	1249.20	12.52%	663.60	32.29%	1312.20	14.74%	663.60	32.29%	1537.20	18.44%
T4	200.97	11.06%	914.60	5.65%	2672.20	7.37%	5071.00	0.00%	1245.20	12.80%	850.60	13.20%	871.80	43.35%	850.60	13.20%	1803.00	4.34%
CV	48		40.45		26.92		12.59		20.07		49.23		28.36		49.23		29.3	

Tabla 13. Prueba de medias y comparación de diferencia (en porcentaje) para la variable "**Cosecha**" en gramos (g).

Finalmente, se muestra la comparación de la Cosecha Total obtenida (**Figura 33**) al final del ciclo. Se puede observar que el **Tratamiento 2**, a base de **Chronos + Poliaminas**, fue el que obtuvo un mayor peso, establecido en **127,505g** que es equivalente a **127.505kg**. Este éxito en el cultivo de jitomate se explica por la sinergia fisiológica de ambos componentes sobre la dinámica fuente-sumidero y el retraso de la senescencia. Por un lado "**Chronos**" con su porte de citocininas, incrementó significativamente la fuerza de los frutos como sumideros prioritarios, promoviendo una atracción masiva y dirigida de fotoasimilados hacia ellos (Kieber & Schaller, 2018).

De manera complementaria, la adición de **poliaminas** potencia las fases tempranas de expansión celular en el ovario para lograr frutos de mayor

calibre; mientras que, a nivel del dosel vegetativo, estas moléculas estabilizan las membranas celulares y previenen la degradación de la clorofila. Esto permite que las hojas se mantengan metabólicamente activas, sosteniendo la fotosíntesis y el llenado de los frutos por un periodo mucho más prolongado sin agotar a la planta (Chen et al., 2019).

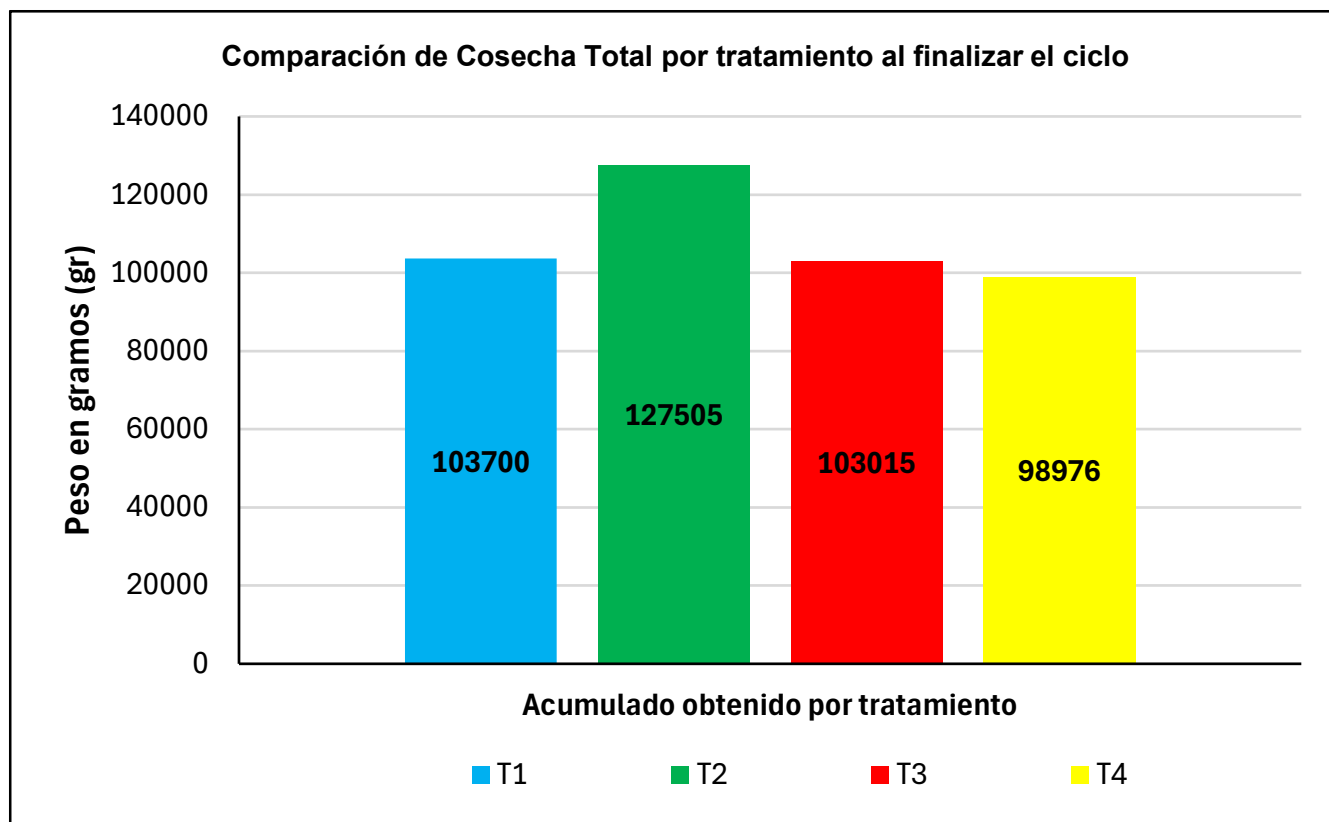


Figura 33. Gráfico de comparación de **Cosecha Total** por tratamiento al finalizar el ciclo.

VII. CONCLUSIONES.

Con base en el trabajo realizado y los resultados obtenidos, se puede determinar que el uso de los bioestimulantes tiene un efecto positivo en el desarrollo del cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum*).

Durante el desarrollo del experimento se observó que, la aplicación de bioestimulantes demostró ser un factor determinante para impulsar el desarrollo fisiológico. En la fase de crecimiento vegetativo, la sinergia del Tratamiento 4, a base de Chronos y Estoma OR, fue fundamental para construir una estructura robusta en la planta. La aportación exógena de auxinas y citocininas por parte de Chronos estimuló activamente la división celular en los meristemos apicales y el cambium vascular, mientras que el potasio, calcio, boro y los compuestos osmoprotectores de Estoma OR garantizaron una alta presión de turgencia y rigidez en las paredes celulares. Esta interacción biostimulante permitió que las plantas maximizaran la elongación celular, alcanzando la mayor altura durante todo el ciclo y manteniendo el mayor grosor de tallo.

Por su parte, el Tratamiento 1, compuesto por Ácido Glutámico, Triptófano y Estoma OR, demostró una notable capacidad para potenciar el metabolismo energético y la fase reproductiva de la planta. La rápida asimilación del ácido glutámico elevó la tasa fotosintética y generó un estado de alto vigor vegetativo que proporcionó la energía crucial para la formación continua de racimos. A la par, el triptófano actuó como precursor directo de auxinas locales, lo que, sumado a la mitigación del estrés térmico y la regulación estomática brindada por el bioestimulante comercial Estoma OR, previno la deshidratación de los tejidos. Gracias a esta acción conjunta de aminoácidos libres y soporte nutricional, este tratamiento fue el más eficiente para mantener la viabilidad del polen, asegurar la fecundación y evitar la formación de capas de abscisión,

logrando la mayor retención y amarre de flores y frutos a lo largo del ciclo.

Finalmente, el Tratamiento 2 a base de Chronos y Poliaminas logró el mayor peso de cosecha total establecido en 127.505 kg. Este sobresaliente rendimiento final se explica por el efecto directo de sus ingredientes activos sobre la optimización de la dinámica fuente-sumidero y el retraso de la senescencia vegetal. Las citocininas de Chronos incrementaron significativamente la fuerza de atracción de los frutos, convirtiéndolos en sumideros prioritarios de fotoasimilados. De manera complementaria, la adición de poliaminas estabilizó las membranas celulares a nivel del dosel vegetativo y previno la degradación de la clorofila, lo que permitió que las hojas se mantuvieran metabólicamente activas por un periodo mucho más prolongado. Esta prolongación de la vida útil del follaje garantizó un flujo constante de carbohidratos para un llenado de fruto pesado y continuo, demostrando que la correcta elección y combinación de bioestimulantes puede dirigir eficientemente los recursos de la planta hacia la obtención del máximo rendimiento comercial.

VIII. LITERATURA CITADA.

- Biondi, A., Guedes, R. N. C., Wan, F. H., & Desneux, N. (2018). Ecology, worldwide spread, and management of the invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*: past, present, and future. *Annual Review of Entomology*, 63, 239-258. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043038>
- Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants and crop responses: A review. *Biological Agriculture & Horticulture*, 35(1), 1-17. <https://doi.org/10.1080/01448765.2018.1469820>
- Bumgarner, N. R., & Hochmuth, G. J. (2021). Carbon Dioxide Enrichment in Greenhouses. University of Tennessee Extension Publications, W1006. <https://extension.tennessee.edu/publications/Documents/W1006.pdf>
- Chen, D., Shao, Q., Yin, L., Younis, A., & Zheng, B. (2019). Polyamine function in plants: from development to stress responses. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1945. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01945>
- Dafni, A., Kevan, P. G., Gross, C. L., & Goka, K. (2021). Bumble bee conservation: the sting in the tale. *Journal of Apicultural Research*, 60(1), 1-10. <https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1834279>
- De Pascale, S., Rouphael, Y., & Colla, G. (2017). Plant biostimulants: innovative tool for enhancing crop resilience to abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1656. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01656>
- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>

- Fanasca, S., Colla, G., Maiani, G., Venneria, E., Rouphael, Y., Azzini, E., & Saccardo, F. (2016). Changes in antioxidant content of tomato fruits in response to foliar applications of a sea-weed-based biostimulant. *HortScience*, 41(2), 171-174.
- FAOSTAT. (2023). Crops and livestock products database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Consultado el 15 de septiembre de 2025, desde <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Forde, B. G., & Lea, P. J. (2017). Glutamate in plants: metabolism, regulation, and signalling. *Journal of Experimental Botany*, 68(10), 2337–2358. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx091>
- García, A. C., van Tol de Castro, T. A., & Berbara, R. L. L. (2021). Amino acids as mediators of stomatal closure under abiotic stress: A new role for old molecules. *Journal of Plant Physiology*, 264, 153484. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153484>
- Gómez, C., & Mitchell, C. A. (2016). Supplemental lighting for greenhouse-grown tomatoes: a review. *HortTechnology*, 26(4), 389-400. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.26.4.389>
- Gonzalez-Morales, S., Solís-Gaona, S., & Valdez-Aguilar, L. A. (2021). Biosynthesis, metabolism and function of auxin, tryptophan and melatonin in plants. En *Plant Hormones in Crop Improvement* (pp. 45-68). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821194-6.00002-3>
- Gruda, N. (2019). Increasing sustainability of protected cultivation: a review on expected effects of climate change and tools to overcome new challenges. *Agronomy*, 9(6), 318. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060318>
- Heuvelink, E. (Ed.). (2018). *Tomatoes* (2nd ed.). CABI.
- Ho, L. C., & Adams, P. (2019). Nutrient uptake and distribution in relation to crop quality. En J. G. Atherton & J. Rudich (Eds.), *The Tomato Crop: A Scientific Basis for Improvement* (pp. 547-587). Springer.
- Kah, M., Tufenkji, N., & White, J. C. (2019). Nano-enabled strategies to enhance crop nutrition and protection. *Nature*

Nanotechnology, 14(6), 532–540.
<https://doi.org/10.1038/s41565-019-0439-5>

- Katsoulas, N., & Stanghellini, C. (2019). A review of the role of climate and its control on greenhouse crop production. *Acta Horticulturae*, 1269, 1-14.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1269.1>
- Leyser, O. (2018). Auxin signaling. *Plant Physiology*, 176(1), 465-479. <https://doi.org/10.1104/pp.17.00765>
- Li, J., Van Gerrewey, T., & Geelen, D. (2022). A meta-analysis of biostimulant yield effectiveness in field trials. *Frontiers in Plant Science*, 13, 836702. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.836702>
- Minocha, R., Majumdar, R., & Minocha, S. C. (2016). Polyamines and their ability to modulate stress-induced programmed cell death in plants. *Plant Signaling & Behavior*, 11(11), e1246534. <https://doi.org/10.1080/15592324.2016.1246534>
- Moreno-Pérez, M. F., Sánchez-del-Castillo, F., & Pineda-Pineda, J. (2021). High-density tomato production in a hydroponic system with recirculating nutrient solution. *Horticulturae*, 7(8), 241. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7080241>
- Moya, C., Valera, D. L., & Molina-Aiz, F. D. (2019). Soilless cultivation in substrates. En *Greenhouse Agriculture* (pp. 209-226). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813004-9.00010-8>
- Pan, H., Lu, Y., He, P., & Wang, J. (2018). Whitefly-transmitted criniviruses: molecular biology, epidemiology, and management. *Annual Review of Phytopathology*, 56, 411-431. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080417-050017>
- Peil, R. M., & López-Gálvez, J. (2017). Pruning systems in greenhouse tomato production. *Acta Horticulturae*, 1170, 683-688. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1170.92>
- Peralta, I. E., & Spooner, D. M. (2017). History, origin and early cultivation of tomato (Solanaceae). En M. T. M. Perez-Gragera & A. C. S. Wilde (Eds.), *The Tomato Genome* (pp. 1-24). Springer.

- Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., García-Hernández, J. L., Rueda-Puente, E. O., & Lara-Herrera, A. (2019). Tomato production in greenhouse with substrates of volcanic rock and coconut fiber. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 1121-1132. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.1798>
- Rai, V. K. (2017). Role of amino acids in plant responses to stresses. *Biologia Plantarum*, 61(4), 601-615. <https://doi.org/10.1007/s10535-017-0749-3>
- Ramírez-Cruz, M. A., Bautista-Cruz, A., & Cruz-Alvarez, O. (2022). La aplicación foliar de ácido glutámico mejora el rendimiento y algunos parámetros físicos y químicos de la calidad del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Interciencia*, 47(1-2), 31.
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
- Sáez, A., Hetherington-Rauth, M. C., & Aizen, M. A. (2020). Can bumblebee pollination outperform supplemental hand pollination in greenhouses? A case study on highbush blueberries. *Journal of Applied Ecology*, 57(5), 896-905. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13596>
- Sajid, M., Ullah, I., Rab, A., Shah, S. T., Basit, A., Bibi, F., & Ahmad, M. (2020). Foliar application of calcium improves growth, yield and quality of tomato cultivars. *Pure and Applied Biology (PAB)*, 9(1), 10-19. <https://doi.org/10.19045/bspab.2020.90002>
- Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry—A review. *European Journal of Horticultural Science*, 83(5), 280-293. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.5.2>
- Schwarz, D., Thompson, A. J., & Kläring, H. P. (2016). Guidelines to use tomato in experiments with a controlled environment. *Frontiers in Plant Science*, 7, 483. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00483>

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2022). Panorama Agroalimentario 2022. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/siap>
- Shamshiri, R. R., Jones, J. W., Thorp, K. R., Ahmad, D., Man, H. C., & Taheri, S. (2018). Review of optimal temperature, humidity, and carbon dioxide concentration for hydroponic indoor plant production. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(2), 1-23.
- Sonneveld, C., & Voogt, W. (2017). *Plant nutrition of greenhouse crops*. Springer.
- Teixeira, W. F., Fagan, E. B., Soares, L. H., Umburanas, R. C., Reichardt, K., & Neto, D. D. (2017). Foliar and seed application of amino acids affects the antioxidant metabolism of the soybean crop. *Frontiers in Plant Science*, 8, 327. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00327>
- Tiburcio, A. F., Altabella, T., Bitrián, M., & Alcázar, R. (2014). The roles of polyamines during the lifespan of plants: From development to stress. *Planta*, 240(1), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s00425-014-2055-9>
- Urrestarazu, M. (Ed.). (2015). *Manual de cultivo sin suelo* (3rd ed.). Mundi-Prensa.
- Van Leeuwen, T., Vontas, J., Tsagkarakou, A., Dermauw, W., & Tirry, L. (2015). Acaricide resistance in pest mites. En *Acaricide Resistance: From Gene to Field Management* (pp. 1-19). Springer.
- Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7, 2049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
- Zhao, Y. (2018). Essential roles of local auxin biosynthesis in plant development and in adaptation to environmental changes. *Annual Review of Plant Biology*, 69, 417-435. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040226>
- Zribi, I., Smaoui, A., & Abdelli, C. (2021). Boron deficiency in tomato: Symptoms, physiological effects and remediation

strategies. *Plant Physiology and Biochemistry*, 163, 179-187.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.048>-38.

-