



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

**CULTIVO DE JITOMATE EN INVERNADERO CON MONITOREO
CONTINUO DEL ESTADO HÍDRICO, NUTRIMENTAL Y AMBIENTAL**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA

ANDREA GARCÍA MONROY

DIRECTOR DE TESIS

DR. JUAN MANUEL BARRIOS DÍAZ

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2022.



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

**CULTIVO DE JITOMATE EN INVERNADERO CON MONITOREO
CONTINUO DEL ESTADO HÍDRICO, NUTRIMENTAL Y AMBIENTAL**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA

ANDREA GARCÍA MONROY

DIRECTOR DE TESIS

DR. JUAN MANUEL BARRIOS DÍAZ

ASESOR EXTERNO

M.C. BENJAMÍN BARRIOS DÍAZ

ASESORES

**M.C. FABIEL VAZQUEZ CRUZ
M.C. ESTEBAN JOAQUÍN MEDINA**

San Juan, Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2022.

La presente tesis titulada: **Cultivo de jitomate en invernadero con monitoreo continuo del estado hídrico, nutrimental y ambiental**, realizada por Andrea García Monroy, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Consejo particular integrado por:

Director: Dr. Juan Manuel Barrios Díaz

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'JMB', written over a horizontal line.

Asesor: M.C. Benjamín Barrios Díaz

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Benjamín', written over a horizontal line.

Asesor: M. C. Esteban Joaquín Medina

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'EJM', enclosed in a circle and written over a horizontal line.

Asesor: M.C. Fabiel Vázquez Cruz

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'FV', written over a horizontal line.

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2022

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico denominado: **BUAP-CA324 Sistema Agroforestal y Agrícolas Sostenible** y de la Línea de Investigación: Agricultura protegida y uso eficiente de los recursos agrícolas. Dicho trabajo, fue financiado con recursos propios.

DEDICATORIA

¡Al fin! Comenzaré agradeciendo a Dios por permitirme llegar a concluir esta etapa tan importante en mi desarrollo.

Esta tesis va dedicada a:

Mi madre, **María del Carmen Monroy Hernández** y a mi padre **Alfonso García Preza**, que son ejemplo de humildad, honestidad, trabajo y paciencia, gracias por motivarme a dar lo mejor, por darme las lecciones más importantes, por creer en mí y principalmente por esforzarse en siempre darme todas las herramientas para llegar hasta aquí, sabemos que no ha sido fácil, pero sin ustedes, su amor y su incondicionalidad jamás se habría logrado, es un logro compartido. ¡Gracias! Los amo.

A mis hermanas, **María Fernanda García Monroy** y **Ana Laura García Monroy** por siempre ser mis mejores amigas, por escucharme, por motivarme y principalmente por estar ahí cuando más las necesito, ciertamente ustedes son mi pilar y gracias a ustedes yo estoy de pie. Las amo.

A mi abuelita **Amada del Carmen Hernández Bello**, por ser siempre mi sostén, mi consejera, la más consentidora del mundo, gracias por su esfuerzo, por su inmenso amor y apoyo, usted es mi más grande maestra. ¡Gracias por tanto! La amo.

A mi sobrina consentida, **Jaemy Candía García**, todo mi esfuerzo, mis ganas y mis metas están siempre alimentadas por tu amor incondicional, y para poder ofrecerte la mejor versión de mí, gracias por siempre escucharme, abrazarme y por tus chistes que siempre me hacen las cosas más livianas. Eres la niña más increíble del mundo, te amo.

A **Hugo Rigel Porras Vilchis**, por enseñarme que la familia es la que uno escoge y que cualquier cosa puede arreglarse si se tiene compromiso y ganas, gracias porque contigo siempre puedo ser yo. Aprendí gracias a ti que nada está lejos, si te esfuerzas. Te amo, y espero que esta tesis sea una muestra de mis ganas y mi compromiso a las metas planteadas.

A mi mejor amigo **Abraham Uriel Cervantes Serna** desde que somos pequeños sabíamos que ambos teníamos un futuro exitoso y soy la más feliz por poder compartir contigo este logro y que fue gracias a ti por impulsarme a tomar decisiones difíciles y

sobre todo, por no dejarme caer nunca a pesar de la distancia, eres mi hermano y te amo, ¡Gracias!

A mis amigos de la universidad **Roberto Carlos Ortega García** que desde un inicio se volvió importante para mí y aunque nos alejamos un tiempo, siempre ha estado en los momentos que lo requiero con una sonrisa; A **Nimbe Marisol Simón Miramontes** por siempre seguirme la corriente en todas las cosas que quiero hacer y siempre puedo ser yo; Y a **José Luis Velázquez Fermín**, por siempre darme un espacio en su tiempo, por ser leal y honesto conmigo y siempre sacarme una sonrisa y sentirme incluida o escuchada, ¡Gracias amigos! Los quiero.

A todos los docentes de diferentes niveles educativos que me brindaron sus conocimientos y me prepararon profesionalmente para poder alcanzar esta meta.

AGRADECIMIENTOS

Al **Dr. Juan Manuel Barrios Díaz**, quien me ofreció su confianza para la realización de esta tesis y al mismo tiempo me incito a salirme de mi zona de confort, retroalimentarme y experimentar. Gracias a usted me llevo conocimientos y experiencias nuevas y unas infinitas ganas de seguir aprendiendo.

A **M.C. Benjamín Barrios Díaz** y a **Teza Agricultura Sustentable S.A de C. V®** por abrirme las puertas de sus instalaciones y además de todo el conocimiento que adquirí gracias a cada uno de sus integrantes, gracias por la calidez y apoyo durante toda mi estancia, Gracias a **Gustavo Méndez** por tanta paciencia, solidaridad y todo el apoyo brindado, me llevo un gran amigo.

A los maestros **Esteban Joaquín Medina** y **Fabiel Vázquez Cruz** por siempre compartir sus conocimientos y orientarme a lo largo de este proceso.

A la **FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS** por abrirme las puertas y ofrecerme las herramientas adecuadas para prepararme profesionalmente.

¡MUCHAS GRACIAS!

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
RESUMEN	ii
ABSTRACT	iv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos	3
III. HIPÓTESIS	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
4.1. Jitomate.....	5
4.2. Morfología de los órganos	5
4.2.1. Semilla	5
4.2.2. Raíz	6
4.2.3. Tallo	6
4.2.4. Hoja.....	7
4.2.5. Flor.....	7
4.2.6. Fruto.....	8
4.2.7. Tiempo de madurez	9
4.3. Factores ambientales para la producción	9
4.3.1. Radiación	9
4.3.2. Temperatura	10
4.3.3. Humedad relativa.....	10
4.4. Crecimiento del cultivo.....	12
4.4.1 Desarrollo vegetativo.....	12
4.4.2. Fotosíntesis	12
4.4.3. Respiración	13
4.5. Elección del material vegetal.....	13
4.6. Labores culturales	14
4.6.1. Desinfección de herramientas, instalaciones y utensilios.....	14

4.6.2. Acondicionamiento del suelo	14
4.6.3. Trasplante	15
4.6.4. Entutorado.....	15
4.6.5. Poda de tallos y hojas	16
4.6.6. Aclareo de frutos.....	16
4.6.7. Polinización	17
4.7. Monitoreo del crecimiento.....	17
4.7.1. Longitud de crecimiento	17
4.7.2. Grosor de tallo	18
4.8. Monitoreo hídrico	18
4.8.1. Sensores de matriz granular.....	18
4.8.2. Principio de funcionamiento.....	18
4.8.3. Lamina de riego	19
4.8.4. Volumen de riego a aplicar	19
4.9. Monitoreo nutrimental	20
4.9.1. Cantidad de nutrientes que consume el tomate.....	20
4.9.2. Preparación de la solución nutritiva	21
4.9.3. Solución de suelo (pasta saturada).....	21
4.9.4. Análisis del extracto celular de peciolo (ECP).....	22
4.9.5. Ionómetros	23
V. MATERIALES Y MÉTODOS	24
5.1. Localización del experimento.....	24
5.2. Material vegetal	25
5.2.1. Pre trasplante	26
5.3. Obtención de datos	27
5.3.1. Variables de crecimiento	27
5.3.2. Variables hídricas	27
5.3.3. Variables nutrimentales	28
5.3.4. Variables ambientales.....	29
5.3.5. Rendimiento y calidad	29
5.4. Análisis estadístico	30
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
6.1. Variables de crecimiento	31

6.1.1. Altura de planta	31
6.1.2. Diámetro del tallo	32
6.1.3. Distancia entre racimos.....	33
6.2. Variables hídricas	34
6.3. Variables nutrimentales	35
6.3.1. Agua de riego.....	35
6.3.2. Nutrición del cultivo	37
6.4. Variables ambientales.....	43
6.4.1. Temperatura.....	43
6.4.2. Humedad relativa.....	45
6.4.3. Radiación solar	46
6.5. Calidad.....	47
6.5.1. Calidad de fruto	47
6.5.2. Tamaño del tomate	48
6.6. Rendimiento.....	49
VII. CONCLUSIÓN	52
VIII. LITERATURA CITADA	53

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
Cuadro 1. Variables de referencia sugeridas para la interpretación del análisis de pasta de suelos en invernadero.....	22
Cuadro 2. Solución nutritiva para riego de las plántulas.....	26
Cuadro 3. Características de fertilidad del suelo en invernadero.....	26
Cuadro 4. Productos y dosis que se aplicaron para la desinfección del suelo.....	27
Cuadro 5. Número de racimos y distancia entre racimos por tratamiento.....	33
Cuadro 6. Parámetros nutricionales del agua de riego en diferentes fechas de establecimiento del cultivo.....	35
Cuadro 7. Análisis del extracto celular de peciolo (ECP) en el cultivo de jitomate tipo saladette en invernadero.....	37
Cuadro 8. Análisis de la solución nutritiva (SN) en el cultivo de jitomate.....	40
Cuadro 9. Análisis del extracto de pasta saturada (EPS) en el cultivo de jitomate tipo saladette en invernadero.....	40
Cuadro 10. Dosis recomendadas para el jitomate en el suelo en invernadero para cinco etapas de desarrollo.....	42
Cuadro 11. Plan de fertilización para el cultivo de jitomate tipo saladette en invernadero.....	43
Cuadro 12. Características de los tamaños de frutos.....	47
Cuadro 13. Clasificación según la forma del fruto de jitomate tipo saladette.....	48
Cuadro 14. Clasificación por tamaño de fruto de jitomate tipo saladette.....	48
Cuadro 15. Principales plagas y enfermedades que se presentaron en invernadero de jitomate, en Tetela de Ocampo, Puebla.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1. Curva característica de la humedad del suelo.....	21
Figura 2. Localización del municipio dónde se desarrolló el experimento.....	24
Figura 3. Localización del invernadero donde se estableció el experimento.....	25
Figura 4. Ordenamiento de los tratamientos en el invernadero.....	30
Figura 5. Comparación de los híbridos evaluados con base a la altura.....	31
Figura 6. Comparación de diámetros de tallo entre los híbridos estudiados.....	32
Figura 7. Comportamiento de la THS (cbar) con respecto a los días después del Trasplante.....	34
Figura 8. Temperatura registrada dentro del invernadero de jitomate (<i>Solanum</i> <i>lycopersicum L.</i>) en Tetela de Ocampo, Puebla.....	44
Figura 9. Humedad relativa registrada dentro del invernadero de jitomate (<i>Solanum</i> <i>lycopersicum L.</i>) en Tetela de Ocampo, Puebla.....	45
Figura 10. Radiación registrada al interior de un invernadero cultivado con jitomate (<i>Solanum lycopersicum L.</i>) en Tetela de Ocampo, Puebla.....	46
Figura 11. Rendimiento de las variedades evaluadas.....	50

RESUMEN

El jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) es una de las hortalizas más consumidas a nivel mundial, por lo cual, en su cultivo es necesario monitorear variables que afectan el rendimiento y calidad de los frutos cosechados. El objetivo de este trabajo fue evaluar el monitoreo continuo de la tensión de humedad del suelo (THS), el estado nutricional de la planta y de variables ambientales del invernadero, sobre la respuesta en crecimiento de la planta, rendimiento y calidad de los frutos cosechados de tres híbridos de jitomate tipo saladette. En el experimento fueron establecidos tres tratamientos que correspondieron a los híbridos comerciales Dickens[®], Misión[®] y AH6205[®]. Las variables medidas fueron de crecimiento y rendimiento de la planta; la tensión de humedad del suelo; para el monitoreo nutricional del cultivo fueron evaluados el extracto celular de peciolo, extracto de pasta saturada y análisis de la solución nutritiva; además, la radiación solar, temperatura y humedad relativa al interior del invernadero. Se establecieron cuatro repeticiones de cada tratamiento y la unidad experimental fueron cinco plantas conducidas a doble tallo. Los resultados mostraron para la última evaluación del crecimiento de la planta que únicamente hubo diferencias significativas en el diámetro del tallo y fue mayor en AH6205[®] (11.6 mm); con respecto a la fluctuación de la THS, ésta se mantuvo la mayor parte del ciclo de cultivo entre 8 y 15 cbar, lo cual representa una condición de humedad óptima de acuerdo al tipo de textura de suelo y reflejó las variaciones climáticas al interior del invernadero y por lo tanto de la demanda hídrica del cultivo en sus diferentes etapas fenológicas y también el cambio de nutrición a lo largo del ciclo. En el rendimiento total no hubo diferencias entre los híbridos evaluados, pero si en aspectos relacionados con la calidad de los frutos. El monitoreo continuo de algunas variables que afectan el rendimiento y la calidad de frutos de jitomate tipo saladette es fundamental para eficientizar el manejo agronómico y operativo de los sistemas de cultivos hortícolas protegidos.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum L.*, sensores de matriz granular, agricultura protegida, nutrición vegetal.

ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most consumed vegetables worldwide, so it is necessary to monitor variables that affect the yield and quality of harvested fruits. The objective of this work was to evaluate the continuous monitoring of soil water tension (SWT), plant nutritional status and greenhouse environmental variables on plant growth response, yield and quality of harvested fruits of three hybrids of type saladette tomato. Three treatments were established in the experiment, corresponding to the commercial hybrids Dickens[®], Mission[®] and AH6205[®]. The variables measured were plant growth and yield; soil water tension; for nutritional status of crop were evaluated, petiole cell extract, saturated paste extract and nutrient solution analysis; moreover, solar radiation, temperature and relative humidity inside the greenhouse. Four replicates of each treatment were established and the experimental unit were five double-stemmed plants. The results showed that in the last evaluation of plant growth, there were only significant differences in stem diameter and AH6205[®] was greater (11.6 mm); respect to SWT fluctuation, it remained for most of the crop cycle between 8 and 15 cbar, which represents an optimum moisture condition for medium-textured soil and was in accordance with the variations in environmental conditions present inside in the greenhouse; it also reflected the water demand of the crop according to its phenological stages and also the change in nutrition throughout of the crop cycle; with respect to total yield, there were not differences between the hybrids evaluated, but there were differences in aspects related to the quality of the fruit. Continuous monitoring of variables affecting yield and fruit quality of saladette tomato is essential to improve the agronomic and operational management of protected vegetable crop systems.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L, granular matrix sensors, protected agriculture, plant nutrition.

I. INTRODUCCIÓN

El jitomate o tomate rojo (*Solanum Lycopersicum L.*), es una de las hortalizas de mayor consumo y un cultivo de los más importantes a nivel mundial (Chapagin y Wiesman, 2004). China, China continental e India son las más importantes tanto en superficie sembrada como en producción. México registro una superficie cosechada de 84,926 hectáreas (ha), ocupando el 9 lugar a nivel mundial con una producción de 4, 137,342 toneladas (ton), lo que represento 1.75 % de la producción global (FAO, 2020) y en las últimas décadas el incremento de la población ha hecho necesaria su industrialización (DeGiglio, 2003).

Para satisfacer esta demanda alimenticia propiciada por la sobrepoblación, se ha recurrido al uso excesivo de los fertilizantes, principalmente químicos, lo que afecta negativamente al suelo y la microbiota y la escasez de agua a nivel mundial, nos orienta a un cambio en su uso para el riego, a fin de maximizar su ahorro y su buen aprovechamiento, así como, incrementar los rendimientos en los cultivos agrícolas, puesto que, la agricultura tiene la tarea de mantener la seguridad alimentaria y al mismo tiempo proteger los recursos naturales (De Wrachien y Mudlagiri, 2015). Desafortunadamente la agricultura es una de las actividades que más se ve afectada por el cambio climático, debido a los impactos de las altas temperaturas, sequías y tormentas, que amenazan la producción agroalimentaria (IPPC, 2014).

El cambio climático ejerce efectos negativos en la agricultura, por lo cual es necesario difundir principios y prácticas de manejo adecuados para garantizar la optimización de los recursos naturales. Bajo esta premisa, en México algunos de los cultivos de alto valor comercial (como el jitomate) se desarrollan mayoritariamente bajo condiciones de invernadero (Sanchez *et al.*, 2010; Barrios *et al.*, 2015), debido a que la producción en condiciones protegidas genera mayor calidad y rendimiento en los productos cosechados (Espinoza y Ramírez, 2016), aunado a un mayor valor nutricional y mejor desarrollo en general de las especies hortícolas cultivadas, lo cual depende de diversos factores que pueden ser controlados dentro de los sistemas protegidos, por ejemplo: las condiciones climáticas, la fertilización, el riego, así como el desarrollo de la planta, entre otros (El nagar y Mekawi, 2015).

Considerando la importancia del cultivo y la eficiencia de los sistemas protegidos es necesario monitorear continuamente el crecimiento y desarrollo de la planta, así como su demanda nutricional e hídrica, lo cual nos permite bajar costos de producción, además de propiciar un menor impacto ambiental adverso en la producción.

Generalmente los sistemas de monitoreo están compuestos por cuatro elementos principales: primero, lo conforma una base de datos para definir los indicadores que sirvan de referencia del estatus que guarda cada elemento analizado, para desarrollar esta base de datos es necesario realizar la recopilación de la información disponible (trabajos de campo, análisis de laboratorio, entre otros). El segundo elemento es la lista ordenada de la información específica concerniente a cada indicador para establecer especificaciones del programa de monitoreo y seguimiento, para los parámetros a medir, la frecuencia adecuada de las mediciones, los métodos sugeridos para obtener los datos y la información derivada. El tercer elemento es una matriz de seguimiento cuya función es observar el comportamiento del parámetro monitoreado de acuerdo con el desarrollo de una meta programada en un periodo de tiempo determinado. Por último, el cuarto elemento es el instructivo de uso aplicativo, el cual facilita la comprensión de la estructura del sistema de monitoreo, siguiendo un orden lógico y una serie de instrucciones, para que las diferentes matrices puedan ser interpretadas correctamente (Loaiza *et al.*, 2011).

De lo anterior, podemos establecer que el monitoreo continuo del estado hídrico, nutrimental y ambiental de los sistemas hortícolas protegidos permiten realizar el manejo eficiente de éstos, debido a que con el análisis de cada uno de los parámetros involucrados podemos tomar decisiones inmediatas para realizar o no ajustes en los intervalos de riego, la dosis de fertilización y el manejo ambiental del invernadero, lo cual repercutirá en la expresión fenotípica deseada de las plantas cultivadas en relación a las condiciones ambientales favorables, y así, poder tomar decisiones acertadas dentro de nuestro plan de manejo.

Con base a la anterior en la presente investigación se pretendió demostrar como los monitoreos continuos de los parámetros ya mencionados nos ayudan a mejorar el plan de manejo de un cultivo en condiciones protegidas para incrementar el rendimiento y calidad de la cosecha.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el monitoreo continuo de la humedad y fertilidad del suelo, el estado nutricional de la planta y ambiente del invernadero, en la respuesta de crecimiento, rendimiento, calidad física de los frutos de tres híbridos de jitomate tipo saladette.

2.2. Objetivos específicos

- a) Determinar el rendimiento y calidad de los frutos cosechados de las plantas cultivadas.
- b) Monitorear la tensión de humedad del suelo para establecer los criterios para realizar el riego al cultivo.
- c) Realizar análisis e interpretación de los principales nutrimentos en el agua de riego, la solución nutritiva, el extracto celular de peciolo, el extracto de pasta saturada, la solución del suelo del cultivo para definir y ajustar el plan de fertilización.
- d) Registrar al interior del invernadero las variables de temperatura, humedad relativa, irradiación solar que permitan proporcionar al cultivo condiciones óptimas para su manejo.

III. HIPÓTESIS

La diferente respuesta fenotípica expresada por tres híbridos de jitomate evaluados en condiciones de invernadero está influenciada por factores abióticos, los cuales pueden ser monitoreados continuamente para definir mejores prácticas de manejo al cultivo.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Jitomate

El tomate es un diploide típico de la subfamilia solanoideae con floración regular, semillas comprimidas y embrión curvado (Taylor, 1986). Contiene igual número de cromosomas ($2n=2x=24$). Según Díez y Nuez (2008), el genoma está formado por unos 950 Mb de ADN, de los cuales más del 75% es heterocromatina, que en su mayor parte está vacía de genes.

El botánico sueco Carl Linneaus (1707-1778) clasificó inicialmente el tomate como *Solanum Lycopersicum*. Más tarde, el científico británico Philip Miller (1691-1771) reclasificó el tomate en su propio género y le dio el nombre de *Lycopersicum esculentum*. Pero posteriormente, tras una serie de pruebas genéticas con métodos modernos de biología molecular, fue reclasificado por Child (1990) y Peralta y Spooner (2005) dentro de su categoría original.

4.2. Morfología de los órganos

Aunque se trata como una planta anual, el tomate es una planta arbustiva de crecimiento tanto determinado como indeterminado que puede tener un ciclo vital de más de un año. Dado que estas plantas necesitan un control intensivo, los cultivares de crecimiento indeterminado se emplean en entornos de invernadero porque permiten producir durante largos periodos de tiempo si se mantienen adecuadamente (Castellanos, 2009).

4.2.1. Semilla

La semilla de tomate tiene forma lenticular y mide unos 5 por 4 por 2 mm. Sus tres componentes principales son el embrión, el endospermo y la testa o cubierta de la semilla. Una yema apical, dos cotiledones, el hipocótilo y la radícula se combinan para producir el embrión. Según Picken *et al.* (1986), el tegumento o cubierta seminal es un tejido duro e impermeable.

Los reguladores del crecimiento, principalmente auxinas y giberelinas, se aplican exógenamente a las plantas para promover la germinación. La planta está en las mejores condiciones posibles para el trasplante cuando las raíces están blancas, lo que indica una salud y un crecimiento fuerte. El pH ácido inhibe la germinación de las semillas porque la germinación es sensible al pH (Jones, 1999).

La temperatura afecta al proceso de germinación; el intervalo ideal se sitúa entre 18° y 29.5°C, la temperatura mínima entre 18° y 11°C, y la temperatura máxima en 35°C. Sin embargo, la variedad de tomate puede influir significativamente en estos parámetros (Kemp, 1968).

4.2.2. Raíz

Un gran número de ramas secundarias y una raíz primaria componen el sistema radicular del tomate. El 70% de la biomasa radicular se localiza en los 30 cm superiores de la capa de suelo. La raíz primaria se expande en las condiciones del suelo 2.5 cm al día hasta alcanzar una profundidad de 60 cm. Las raíces y las ramas crecen al mismo tiempo. El sistema radicular sujeta o ancla la planta al suelo, además de servir como medio de absorción y transporte de agua y nutrientes. La raíz es crucial para la productividad de los cultivos, y las características físicas del suelo también afectan al desarrollo de la raíz. Las raíces fuertes prosperan en suelos porosos y blandos, pero los suelos compactados restringen el crecimiento de las raíces e impiden así el aporte de agua, oxígeno y nutrientes (Ho *et al.*, 1995). La técnica del injerto se ha adoptado en tomate empleando portainjertos robustos resistentes a los nematodos y a las enfermedades del suelo. Esto promueve plantas fuertes y productivas en ciclos largos para hacer frente a las enfermedades de las raíces (Saure, 2001).

4.2.3. Tallo

El tallo es el eje sobre el que se desarrollan las hojas, las flores y los frutos, por lo que es crucial vigilar su fortaleza y salud. El diámetro de la base puede oscilar entre 2 y 4 cm, y el porte puede ser indeterminado (tallos que no dejan de crecer) o de crecimiento determinado (tallos que dejan de crecer cuando alcanzan un determinado número de racimos). Las

glándulas derivadas de la epidermis que recubren el tallo segregan un aceite oloroso que, cuando se libera, protege el tallo (Kinet y Peet, 1997).

Los tallos secundarios que se desarrollan en las axilas de las hojas del tallo principal se cortan mediante poda para mantener la forma adecuada de la planta. Los nuevos primordios florales y foliares se inician en el meristemo apical, con forma de cúpula y en división activa, que está protegido por las hojas recién producidas. Así se crea la cabeza de la planta, cuyos rasgos y aspecto reflejan de forma significativa la salud del cultivo. Por ejemplo, un trozo de tallo delgado sugiere que la planta no recibió los cuidados adecuados en ese periodo de crecimiento, pero un trozo de tallo grueso revela que la planta era muy vigorosa en ese momento. El tallo de una planta de invernadero puede expandirse hasta 10 m en un solo año (Rick, 1978).

4.2.4. Hoja

El eje central de una hoja, conocido como peciolo, es donde se controlan los nutrientes. A partir de este eje crecen pequeños foliolos. El término simpodio se refiere a una parte del tallo que, en el caso de los tipos de crecimiento indeterminado cultivados en invernadero, consta de tres hojas y un racimo de flores.

Dado que las hojas son las encargadas de la fotosíntesis, deben tener un buen posicionamiento para que absorban más luz. Por lo tanto, es crucial que el emparrillado para el tutorado se instale simétricamente para evitar interferencias con el manejo del cultivo. Una hoja de tomate típica puede medir hasta 50 cm de largo, con hasta 8 foliolos laterales grandes y potencialmente compuestos y un foliolo terminal macizo. En las hojas se encuentran estomas, que son estructuras que permiten el intercambio de gases (transpiración y asimilación de CO₂) (Calvert, 1964).

4.2.5. Flor

Las flores son simples en la mitad inferior del racimo antes de dividirse y ramificarse cada vez más. Las flores son pequeñas, penduculadas, de color amarillo y forman corimbos axilares. El cáliz está formado por cinco sépalos, la corola por cinco pétalos, los cinco

estambres están fusionados en un solo estilo que a veces se extiende desde los estambres y el ovario contiene varios óvulos (Cadenas *et al.*, 2003).

El tipo de tomate determinará el número de flores. Los tomates de calibre grande tienen de 4 a 6 flores por racimo, los de calibre medio de 10 a 12 flores por racimo y los tomates cherry pueden tener hasta 100 flores por racimo. Es típico que los tomates cherry produzcan hasta 100 flores por racimo. En la actualidad, la fruta se comercializa en racimos. La polinización y la poda de los frutos son cruciales en estas situaciones, ya que, en el caso de los tomates bola, sólo producen de 5 a 6 frutos por racimo.

Además de comprender la morfología de la flor, es útil conocer el ritmo de formación de los racimos, que varía en función del cultivar y de los factores ambientales, pero que puede considerarse que se produce un racimo por semana. Este conocimiento es importante a la hora de decidir si se retira el producto del campo o cuándo elegir el mejor momento para despuntar las plantas o retirar las plantas del invernadero (Sánchez, 2002).

Asegurarse de que haya una polinización eficaz es crucial. Los frutos que no son polinizados no crecen ni producen semillas. Una temperatura de 24°C y una humedad relativa de alrededor del 60% son ideales para la polinización (Cadenas *et al.*, 2003).

4.2.6. Fruto

Dependiendo del cultivar y del lugar, los frutos tardan entre 55 y 60 días en madurar una vez polinizadas las flores. El fruto tiene dos o más lóculos, se origina en un ovario que pesa entre 5 y 10 miligramos y, según la variedad y las circunstancias de crecimiento, madura pesando entre 5 y 500 g. La cáscara, epidermis, piel o cutícula son nombres para la cubierta. Los lóculos unidos a la parte carnosa contienen las semillas. Un pedicelo sujeta el fruto a la planta. Se recomienda en cultivares que pueden prepararse fácilmente por la zona peduncular, ya que la presencia de una parte del pedicelo en los tipos industriales es indeseable. Según el cultivar, la ubicación en el racimo y los factores ambientales, un ovario fecundado tarda de 7 a 9 semanas en madurar y convertirse en un fruto maduro (Peet, 1992).

El número de lóculos, la ubicación de los frutos en el racimo, el número de frutos por racimo, la fase de desarrollo de la planta, la ubicación del racimo en la planta y la actividad fotosintética son factores que afectan al tamaño del tomate (Boyle, 1994).

4.2.7. Tiempo de madurez

El entorno y la precocidad de la variedad determinan el tiempo que tarda el primer racimo en alcanzar la madurez comercial tras el trasplante. La cual dura alrededor de 60 días en clima extremadamente cálido, y hasta 95 días en clima extremadamente frío. Según Kristofersen (1963), el rango para circunstancias en México es de alrededor de 70 días para plantaciones de primavera en zonas cálidas y 90 días para tipos tardíos y plantaciones de otoño.

4.3. Factores ambientales para la producción

La luz, la temperatura, la disponibilidad de nutrientes y el suministro de agua suelen ser factores que afectan en cierta medida al rendimiento del cultivo del tomate (Muñoz y Medina, 2004).

4.3.1. Radiación

Dado su impacto en la fotosíntesis, los balances hídrico y energético, el crecimiento y el desarrollo de los cultivos, la radiación solar puede considerarse el componente medioambiental más significativo para los cultivos en invernadero. En consecuencia, el control de la radiación solar durante la producción en invernadero es, sin duda, una de las tareas más cruciales de la agricultura protegida. Esta importancia se basa en la correlación directa entre el rendimiento y la producción de materia seca con la absorción de radiación por el cultivo. La eficacia con la que la radiación solar es utilizada por las plantas durante el proceso de fotosíntesis depende de la longitud de onda de la luz (Cockshull, 1989).

La radiación que facilita la fotosíntesis en las plantas se conoce como radiación fotosintéticamente activa (RFA); la luz con una longitud de onda superior a 700 nm no lo hace, aunque puede provocar una acumulación de calor en un invernadero. La radiación solar de mayor calidad para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, conocida como PAR, supone el 45-50% de la radiación solar total recibida (Hernández *et al.*, 2001).

En general, es preferible optimizar la iluminación natural prestando mucha atención al tipo de material y al estado de conservación de la cubierta del invernadero, así como a la

meticulosa planificación y colocación idónea del invernadero y del cultivo en su interior. Según estimaciones, la radiación incidente en el exterior del invernadero debe estar en el rango de 14 a 16 MJ/m² por día para que el cultivo de tomate produzca con las menores limitaciones fotosintéticas (Lorenzo y Sánchez, 2004).

4.3.2. Temperatura

El ritmo del metabolismo y el crecimiento y desarrollo de las plantas están muy influidos por la temperatura. La temperatura afecta a la productividad agrícola junto con los niveles de luz, el dióxido de carbono, la humedad del aire, el agua y los nutrientes. Todos estos elementos deben estar en armonía. La distribución biogeográfica original de las hortalizas comestibles se da en latitudes subtropicales, que suelen asociarse a una escasa variación térmica y a temperaturas mínimas superiores a los 12°C, que se cree que es la temperatura mínima por debajo de la cual estas especies empiezan a ralentizarse y a mostrar signos de deterioro. Dado que las cosechas no pueden programarse cuando la temperatura está por debajo de ciertos valores, la ausencia de gestión térmica da lugar a una amplia gama de cantidades y calidades de producción. Además, los cambios ocasionalmente rápidos en la actividad metabólica pueden hacer que las plantas envejezcan antes y tengan una menor capacidad de producción (Samaniego *et al.*, 2002).

La temperatura ideal para el desarrollo del tomate oscila entre 23 y 25 °C durante el día y entre 15 y 17 °C por la noche. La humedad relativa ideal oscila entre el 70 y el 80 %. Las temperaturas bajas y altas afectan al crecimiento del tomate y pueden provocar un mal cuajado. La planta se congela a 0 °C durante muchos minutos. La exposición prolongada a temperaturas superiores a 30 °C estresa a las plantas y provoca problemas fisiológicos en el fruto (Muoz y Medina, 2004).

4.3.3. Humedad relativa

Controlar la humedad dentro del invernadero es esencial para el máximo desarrollo de las plantas. Por lo general, se aconsejan niveles de humedad relativa del 65-75% durante el día y del 80-90% por la noche. Los valores extremos favorecen el aborto de frutos y flores, así como la reducción de la superficie foliar. El exceso de humedad que suele crearse por la

noche puede reducirse con un control adecuado de la ventilación del invernadero (López, 2000).

La condensación que se forma en el plástico, las superficies estructurales del invernadero, el follaje o las frutas es el resultado más obvio de unos niveles excesivos de humedad en el ambiente. Para evitar que se forme condensación en el plástico, las superficies estructurales interiores, el follaje o los frutos, lo mejor es ventilar el invernadero muy temprano por la mañana. Para evitar situaciones que puedan dar lugar a la aparición de problemas fitosanitarios, entre en el invernadero a primera hora de la mañana. Dado que el aire dentro del invernadero suele tener una humedad relativa mayor que el aire exterior, se aconseja abrir las cortinas temprano, aunque las temperaturas sean inferiores a las del invernadero precedente (Lorenzo, 2012).

Además, la humedad del aire influye directamente en la fecundación. Niveles altos, particularmente en condiciones de poca luz, pueden disminuir la viabilidad del polen. El intervalo ideal de humedad relativa para la polinización, según Buitelaar y Eindhoven (1986), es del 60 al 85%. Por debajo de este rango, la pegajosidad del estambre disminuye, lo que puede perjudicar la adherencia del polen y la germinación. El polen también pierde eficacia a niveles de humedad muy bajos debido a la desecación; cuando los niveles de humedad son más altos, se inhibe el desprendimiento del polen del estilo.

La temperatura y la velocidad del viento afectan a la humedad relativa del aire circundante. Las temperaturas más altas suelen provocar una mayor transpiración. Esto ocurre en parte porque las moléculas se mueven más deprisa, pero el aire más caliente también puede contener más vapor de agua. El aire alrededor de las hojas se saturará de vapor de agua cuando no haya movimiento de aire, lo que ralentizará el proceso de evaporación. Una capa de agua se condensará sobre las hojas si el aire está saturado de agua, creando el hábitat perfecto para el crecimiento de enfermedades que podrían perjudicar a la planta (Prenger y Ling, 2000).

4.4. Crecimiento del cultivo

4.4.1 Desarrollo vegetativo

Una planta típica generará de 6 a 11 hojas antes de su primera flor. El crecimiento vegetativo y el desarrollo reproductivo coexisten durante la mayor parte de la vida de una planta de tomate indeterminada. Durante el ciclo de cultivo, existe una intensa rivalidad entre el crecimiento de las hojas y el de los meristemas apicales. La relación entre ambos afecta significativamente al momento de la cosecha y a la producción total. Los altos niveles de luz y una elevada disponibilidad de asimilados favorecen el desarrollo de las hojas y la actividad de los meristemas.

Las hojas jóvenes crecen más rápidamente a expensas del desarrollo apical cuando las plantas carecen de fotoasimilados debido a las altas temperaturas o a la baja luminosidad. El deshoje precoz puede utilizarse para disminuir el excesivo vigor de una planta en condiciones altamente vegetativas, de modo que pueda volverse más generativa (Sánchez, 2002).

4.4.2. Fotosíntesis

Mediante el uso de la energía solar, las plantas emplean la fotosíntesis para convertir los nutrientes del suelo, el aire y el agua en azúcares que les permiten llevar a cabo sus procesos metabólicos. Para ello es necesaria la clorofila, una sustancia química que se encuentra sobre todo en las hojas, pero también en otros órganos verdes (Fernández, 2014).

La tasa de fijación de carbono por metro cuadrado de superficie se denomina tasa de asimilación de CO₂. Actúa como indicador de la eficacia con la que la planta crea materia seca, lo que incluye el desarrollo de nuevos órganos (flores, frutos, etc.) y el mantenimiento del crecimiento. Aunque la concentración de CO₂ dentro del invernadero es menor debido a las restricciones de consumo y ventilación, sigue teniendo un impacto significativo en la tasa de asimilación de CO₂ (Lorenzo y Sánchez, 2004). Normalmente, la concentración de CO₂ en el medio ambiente se sitúa en torno a 300 ppm.

4.4.3. Respiración

Las plantas respiran mediante un proceso llamado respiración, en el que toman oxígeno y exhalan dióxido de carbono. Los hidratos de carbono producidos durante la fotosíntesis se consumen durante la respiración y se expulsan en forma de CO₂. La energía necesaria para que la planta lleve a cabo sus procesos de crecimiento y desarrollo procede de este proceso. Este proceso tiene lugar tanto de día como de noche, pero como la fotosíntesis no se produce por la noche, el intercambio total de gases es diferente. La respiración baja durante la noche para evitar una pérdida excesiva de fotoasimilados. Excepto para la fruta fresca, donde la respiración es siempre mayor que la fotosíntesis bruta en el fruto del tomate por lo que, la acumulación de materia seca en el fruto depende de la aportación de los asimilados de la hoja, es deseable mantener las temperaturas del invernadero alrededor de 32 °C para mantener bajas las tasas de respiración (Cadenas *et al.*, 2003).

4.5. Elección del material vegetal

La elección más crucial es la variedad que se va a cultivar después de que el productor haya tomado la decisión de cultivar tomates y elegido la fecha de plantación que maximice el rendimiento y los beneficios económicos. El rendimiento final del cultivo está muy influido por la selección del material. El cultivar debe tener una larga vida útil y ser el tipo de tomate que demanda el mercado. Además, debe ser productivo tanto cuantitativamente como cualitativamente dada la infraestructura disponible, el clima, el suelo, el sistema de cultivo y el entorno. Para exportación, el tomate de bola o tipo beef es apetecido por los consumidores norteamericanos y, en pequeña escala, por algunos consumidores selectos en México, como restaurantes y algunas cadenas de comida rápida (Muñoz y Medina, 2004). En México, el 80% de la producción de tomate se destina al consumo interno y es principalmente tomate tipo Saladette (Muñoz y Medina, 2004).

Los frutos de la variedad a plantar deben tener una buena conservación o vida útil independientemente del mercado al que se destinen, ya que es un factor que incide en una menor comercialización y posterior venta. Es útil tener sólidos conocimientos de los tipos hortícolas para comprenderlos en mayor profundidad. Es aconsejable realizar cada año un pequeño ensayo con 2 ó 3 nuevos materiales con propiedades prometedoras, ya que las

condiciones ambientales de invernaderos con diferentes grados de tecnificación son muy variables. Por ello, la extrapolación de resultados de un invernadero a otro no siempre es fiable (Camacho, 2007).

4.6. Labores culturales

4.6.1. Desinfección de herramientas, instalaciones y utensilios

Aunque las cubiertas de los invernaderos parezcan herméticas, no son impenetrables a la entrada de microorganismos que afectan a las plantas cultivadas, porque las plantas, las herramientas e incluso las personas son vehículos y medios de entrada. Por lo tanto, es crucial pensar en la desinfección de las instalaciones antes de considerar las particularidades de las estrategias de gestión de los cultivos (Ricárdez *et al.*, 2009).

4.6.2. Acondicionamiento del suelo

El yeso agrícola y la cal son los dos mejoradores del suelo más comunes, utilizándose el yeso agrícola en suelos sódicos. La materia orgánica, ya sea estiércol fresco, estiércol seco o compost, es un abono superior universal ampliamente utilizado y cuyos efectos sobre las cualidades físicas del suelo son reconocidos. Sólo hay que asegurarse de que la fuente de la materia orgánica es segura antes de elegirla para su aplicación. Las características físicas del suelo suelen mejorar mucho con la inclusión de 20 toneladas/ha de estiércol, además de aportar una buena cantidad de nutrientes para minimizar parcialmente la necesidad de fertilización con fósforo y potasio en las primeras fases de desarrollo (Godoy, 2007).

El suelo arenoso se crea cubriendo un suelo que se ha considerado libre de piedras, aproximadamente nivelado y con índices de fertilidad normales con una capa de 8-10 cm de arena silícea. Entre el suelo mencionado y la capa de arena se coloca una fina capa de materia orgánica (estiércol, compost, etc.) de unos 8 mm de espesor y un peso típico de 5 kg/m². Debido a su bajo calor específico (0,19 kcal/kg °C), la arena se enfría y se calienta rápidamente. El calor que absorbe se transfiere a las capas inferiores, elevando su temperatura y repercutiendo en la actividad microbiana de la materia orgánica incorporada entre el suelo y la arena. En la zona radicular, la arena también mejora la calidad y el rendimiento de los

frutos al evitar la compactación del suelo (Ricárdez *et al.*, 2009). Todas estas ventajas se traducen en mayores beneficios en la zona radicular.

4.6.3. Trasplante

Es el movimiento de la planta desde el semillero hasta la ubicación final del cultivo. El marco, la densidad y la dirección de la plantación se tendrán en cuenta a la hora de colocar el riego por goteo. Antes del trasplante, en el cultivo en suelo, se proporciona un riego amplio durante el número de horas necesario para que la humedad llegue al pasillo con el fin de humedecer el suelo, desplazar las sales y reducir la salinidad del suelo, que debe ser inferior a la CE del medio de trasplante. A continuación, se abren los agujeros, se colocan las plantas en su interior y se fijan. Se utiliza un riego de asiento para garantizar una compactación adecuada entre la tierra y el cepellón de la plántula. Para evitar el Damping-off, puede ser útil regar las raíces junto con algún fungicida (Gonzales, 2004).

4.6.4. Entutorado

El entutorado consiste en dirigir las plantas verticalmente a lo largo de una cuerda de plástico o tela que va desde la base de la planta (tercera o cuarta hoja) hasta un alambre instalado entre 2,5 y 3,0 metros por encima de las plantas y colocado en la misma dirección que el surco. La planta puede sujetarse a lo largo de la cuerda mediante abrazaderas de plástico que se atan al tallo justo por debajo del pecíolo de una hoja completamente crecida y resistente.

Además, se puede enseñar la planta enrollándola alrededor de la cuerda en el sentido de las agujas del reloj cada dos o tres hojas o una vuelta cada manojo. Las plantas no deben maltratarse durante este procedimiento, por lo que hay que evitar estrangularlas y envolverlas más de lo necesario. Durante las primeras semanas de desarrollo a alta temperatura, cuando el crecimiento de las plantas es especialmente rápido, el enrollado de las plantas se realiza una vez por semana, y ocasionalmente hasta dos veces por semana. El enrollado puede hacerse una vez a la semana una vez que el desarrollo de los frutos comience más tarde.

4.6.5. Poda de tallos y hojas

En los tipos de tomate de crecimiento indeterminado, la poda es imprescindible. En la axila de cada hoja puede formarse una yema, que se elimina en cuanto su tamaño lo permite, o cuando mide aproximadamente 5 cm. Cuando sólo quedan 2 tallos en una planta injertada, el tallo principal se despunta por encima de las hojas cotiledonares al inicio del cultivo para que las axilas puedan producir los brotes que servirán de tallos principales (Cadenas *et al.*, 2003).

Cuando se podan las hojas, se deja al descubierto un segundo racimo y se eliminan las hojas senescentes inferiores situadas por debajo del último racimo que está madurando o tomando color. al descubierto. Para impedir la entrada de infecciones, el corte de las hojas debe ser preciso y a ras del tallo principal. Es crucial supervisar la realización adecuada de estas tareas; hay que evitar el recorte excesivo de hojas para evitar el desequilibrio y el cansancio de la planta. La poda de las hojas puede hacerse con tijeras y deben limpiarse después de cada tramo de unos 10 metros, o como mínimo después de cada surco. Para limpiar las tijeras puede utilizarse cualquier desinfectante basado en yodo o con propiedades germicidas, como permanganato potásico, hipoclorito sódico o sales de amonio cuaternario. Otro método de corte manual de las hojas también evita la transferencia de enfermedades entre plantas e impide el desarrollo de fusariosis o bacteriosis (Blancard, 2000).

Las hojas de manera natural tienen un punto de unión con el tallo y éste se aprovecha para desprender las de mejor manera. Las hojas se retienen mientras se aplica un tirón hacia arriba, ocasionando así la ventilación mejorando el color de los frutos. Se fomenta la eliminación temprana de las hojas cuando las plantas han desarrollado un exceso de vigor, hojas muy grandes y tallos muy gruesos. Para evitar crear un desequilibrio hídrico y energético, se recomienda eliminar sólo dos o tres hojas a la vez durante el deshoje (González, 2004).

4.6.6. Aclareo de frutos

El tamaño final de los frutos depende de la cantidad de frutos por racimo. Para que los frutos alcancen un tamaño sano y evitar que el racimo se caiga, es importante podar las inflorescencias con muchas flores. La poda de los frutos debe realizarse lo antes posible,

poco después de que éstos hayan cuajado. Se eliminan todos los frutos con formas irregulares, los que se desarrollan mucho más tarde que los demás y los que se comprueba que no han sido polinizados correctamente. En las variantes específicas del racimo sólo quedan de 5 a 6 frutos por racimo. Es práctico tener siempre presente que los carbohidratos se encuentran en las hojas y se almacenan en los frutos (Mera, 2009).

4.6.7. Polinización

Siempre que la temperatura y la humedad relativa sean ideales, la polinización mecánica es eficaz y da lugar a una mayor descarga de polen. Hay varias formas de mover las inflorescencias, pero la más popular es utilizar chorros de aire accionados por motores para mover las plantas o golpear suavemente el emparrillado para hacer vibrar las plantas.

El uso de hormonas se ha reducido como consecuencia de una mala calidad de la fruta y el aumento de las enfermedades criptogámicas, el buen rendimiento de los abejorros y la mayor eficacia de la polinización ha quitado el uso de hormonas. El tratamiento hormonal, sin embargo, es con frecuencia la única opción debido a factores ambientales, y sólo en estas situaciones debe realizarse como se ha descrito anteriormente (Jones, 1999).

La principal aplicación de los insectos es la polinización mediante abejorros de la especie *Bombus* ha ganado popularidad por su rusticidad. Los abejorros visitan las flores en busca de polen, que utilizan como fuente de proteínas para las larvas de la colonia. Una colmena puede visitar entre 20 y 50 mil flores al día, visitando de 6 a 10 flores por minuto. Dependiendo del manejo, la colmena tiene una vida útil de 8 a 12 semanas; una colmena no estresada vive en promedio, 10 semanas (García, 2013).

4.7. Monitoreo del crecimiento

4.7.1. Longitud de crecimiento

La rafia se utiliza para registrar la altura del punto de crecimiento y, a la semana siguiente, esa marca se utiliza como guía para medir el crecimiento de la planta en esa semana hasta el ápice o punta de crecimiento. Este indicador, junto con cualquier otro, nos permitirá evaluar el equilibrio de la planta entre crecimiento vegetativo y generativo. Dependiendo del

genotipo y de las circunstancias de temperatura, el tallo suele desarrollarse a un ritmo de 18 a 27 cm por semana. A medida que aumenta la temperatura, suele aumentar el ritmo de localización del tallo, lo que da lugar a tallos más delgados con una mayor proporción de tejido parenquimático y agua (Calvert, 1964).

4.7.2. Grosor de tallo

Con él se evalúa la intensidad de crecimiento. Para medir con precisión el diámetro del tallo es necesario contar con un vernier, instrumento también conocido como pie de rey. Una planta de tomate bola con un equilibrio adecuado suele tener un diámetro reciente de 11 a 12 mm; si el diámetro es de 13 mm o más, se considera que está en estado vegetativo; por otro lado, si el diámetro del tallo con respecto a la altura es 1 cm o menor; se encuentra en una condición generativa (Kristoffersen, 1963).

4.8. Monitoreo hídrico

4.8.1. Sensores de matriz granular

Es un dispositivo de detección de resistencia eléctrica del estado sólido que se utiliza para medir la tensión de agua del suelo. La resistencia varía junto con la tensión en función del contenido de agua. El sensor se compone de un par de electrodos extremadamente resistentes a la corrosión incrustados en una matriz granular. Para determinar la resistencia del sensor, se aplica una corriente. El medidor o monitor correlaciona la resistencia con la tensión del agua del suelo en centibares (cb) o kilopascales (kPa). Este sensor está pensado para que sea permanente y esté enterrado en el suelo, de modo que pueda controlarse y leerse continuamente mediante un dispositivo móvil o fijo (Enciso *et al.*, 2000).

4.8.2. Principio de funcionamiento

El medidor portátil convierte automáticamente la lectura de ohms, que es como se mide la resistencia eléctrica, a centibares (1 bar equivale a 100 centibares).

La tensión debe evaluarse cuidadosamente de acuerdo a las características del suelo. Por ejemplo, una cifra de 10 cb puede representar la capacidad de campo en arena, pero una

medida de 30 cb puede representar la capacidad de campo en suelos con texturas más finas (limo, arcilla). Las lecturas del medidor que son altas sugieren que el suelo se está secando. En consecuencia, para los suelos de textura gruesa, una medición de 75 cb puede representar un déficit del 90%, pero sólo del 30% para los suelos de textura fina. Por ello, los sensores Watermark® deben calibrarse para cada tipo de suelo. La temperatura y la salinidad tienen un pequeño impacto en estos sensores. En función de la temperatura del suelo, la lectura del sensor también puede modificarse (Enciso *et al.*, 2000).

4.8.3. Lamina de riego

La capacidad de campo (CC) y el punto de marchitamiento permanente (PMP) son las dos variables empleadas en la gestión de la humedad del suelo. La primera se define como el volumen de agua retenido por el suelo durante el riego y después de dejarlo drenar durante 24 horas; la segunda se define como el contenido de humedad a partir del cual el cultivo ya no puede extraer más agua del suelo debido al bajo poder matricial (Tijerina, 1992).

La idea de humedad fácilmente disponible ha cambiado significativamente como consecuencia del riego por goteo. Ahora sabemos que la humedad del suelo debe estar entre 6 y 25 kPa, dependiendo de la textura del suelo, considerablemente por debajo de 1500 kPa (umbral de marchitez permanente), e incluso por debajo de 30 kPa (capacidad de campo), para producir los rendimientos más altos de los cultivos (Lorenzo, 2006).

Está claro que las cantidades máximas de agua que puede retener el suelo en un sistema de riego por goteo son un 25% inferiores a las que retienen los sistemas de riego típicos. Así pues, el riego por goteo se utiliza con mucha más frecuencia simplemente porque hay menos agua disponible. Si bien es cierto que los sistemas convencionales tienen una mayor cantidad de agua accesible, un porcentaje significativo está fuera del alcance de las raíces, lo que significa que no se utiliza en su totalidad y es propenso a pérdidas por percolación y evaporación (Lorenzo, 2006).

4.8.4. Volumen de riego a aplicar

Los tensiómetros y el muestreo de humedad se utilizan para obtener la curva característica en el rango de alta humedad. La medición del tensiómetro en el momento del

muestreo se conecta a cada valor. Para captar toda la gama de valores de tensión del tensiómetro, se realiza varias veces la medición. Con estos datos se crea una curva que relaciona las dos variables y que sólo es aplicable a ese suelo (Enciso *et al.*, 2000).

En función de la textura del suelo, cada clase de suelo tiene una curva característica de humedad del suelo única, por lo que, si el productor quiere avanzar tecnológicamente, tendrá que crear una o varias curvas de humedad para cada tipo de suelo. El vínculo entre el contenido de agua del suelo y la tensión a la que el agua es retenida por el suelo se muestra en la curva característica de humedad del suelo (Figura 1). La conexión no es lineal y depende del tipo de suelo. A medida que el suelo se seca, la tensión (succión) aumenta desde casi cero en un suelo saturado (Enciso *et al.*, 2000).

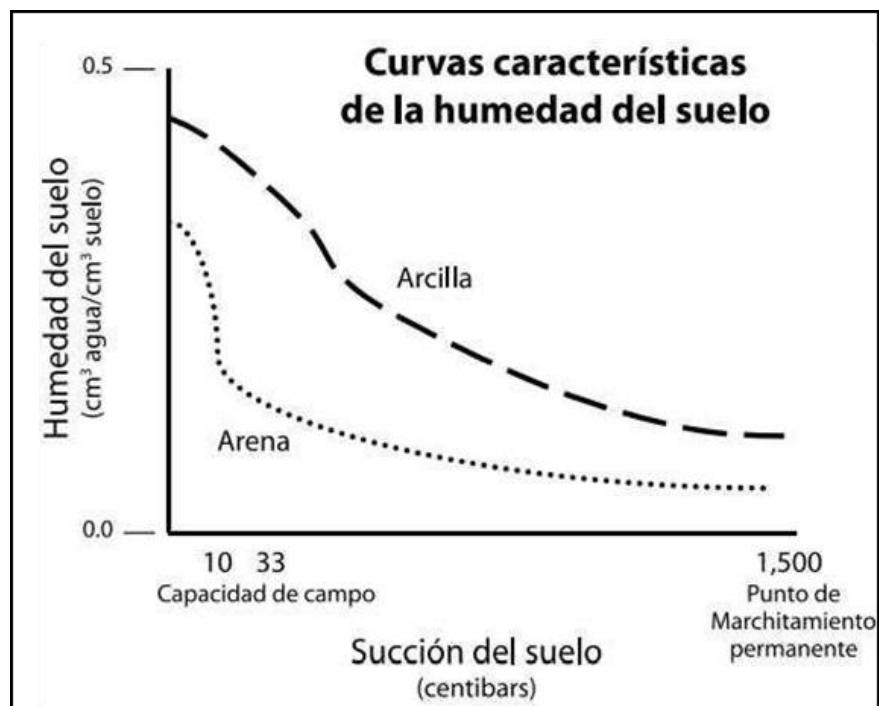


Figura 1. Curva característica de la humedad de suelo.

4.9. Monitoreo nutrimental

4.9.1. Cantidad de nutrientes que consume el tomate

Los niveles de calcio y magnesio en el agua de riego determinan el rango de fluctuación. Sin embargo, el suelo puede retener cationes durante su fase de intercambio y,

en este sistema de producción, la raíz presenta un mayor volumen de exploración, lo que se traduce en un consumo constante de menos fertilizante en el suelo que en el sustrato. Cuando se dan las condiciones ambientales adecuadas y un buen manejo agronómico, pueden obtenerse altos rendimientos. La planta utilizará más nutrientes cuanto mayor sea el rendimiento. De ello se deduce que será necesaria una mayor dosis de fertilizante para una mayor producción de fruta. La concentración de nutrientes en la solución nutritiva debe disminuirse cuando disminuya la producción de la planta, ya que esto se traducirá en un menor descenso de la demanda de nutrientes (Villalobos *et al.*, 2004).

4.9.2. Preparación de la solución nutritiva

Como los nutrientes se aprovechan mejor gracias a las menores pérdidas por drenaje, la solución nutritiva del suelo está menos concentrada que la del sustrato. Esto abre la posibilidad de conservar el agua y los fertilizantes. La cantidad de agua de riego utilizada se ajusta en función de la lógica de equilibrio y consumo, así como de la fase del cultivo. Las necesidades de nutrientes son menores en la primera etapa, que dura los primeros 75 días después del trasplante (DDT); en la segunda etapa, que dura de 75 a 125 DDT y es cuando se inicia la cosecha, los rendimientos son altos y la extracción es mayor (Villalobos *et al.*, 2004).

4.9.3. Solución de suelo (pasta saturada)

Es un método para evaluar cuántos nutrientes están presentes en la solución del suelo para la planta. Para llevar la humedad de la pasta al punto de saturación y aplicar la succión mediante un sistema de vacío, las muestras de suelo se saturan con agua destilada. Al aplicar el vacío, se succiona la muestra y se extrae una solución denominada extracto de pasta. Es en este momento cuando se evalúa la concentración de nutrientes de la planta. Dado que es esta solución la que nutre la raíz, se aproxima con precisión al estado de suministro de nutrientes del cultivo (Castellanos *et al.*, 2000).

La muestra debe tomarse a lo largo de la línea de la cinta, a 10 cm del gotero. Para obtener una muestra compuesta de 0.5 kg, se introduce una barrena hasta una profundidad de 30 cm, y este proceso se repite en al menos 10 sitios del suelo. Con el uso de un lisímetro, la

muestra se satura con agua destilada antes de ser succionada (Castellanos *et al.*, 2000). Los factores necesarios para interpretar la pasta saturada se muestran en la Tabla (1).

Cuadro 1. Variables de referencia sugeridas para la interpretación del análisis de pasta de suelos en invernaderos.

Determinación	Muy bajo	Bajo	Mod. Bajo	Medio	Mod. Alto	Alto	Muy alto
CE dS/m	>0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.5	2.5-4.0	4.0-5.0	>5.0
RAS	<1	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-7.0	7.0-9.0	>9.0
Ca meq/L	<1.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-10.0	10-15	15-20	>20
Mg meq/L	<1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-8.0	8.0-10	>10
Na meq/L	<2.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-8.0	8.0-10	10-15	>15
K meq/L	<0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0-4.0	4.0-5.0	>5.0
NO ₃ ⁻ meq/L	<2.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-8.0	8.0-12	12-14	>14
SO ₄ meq/L	<1.0	1.0-2.0	2.0-4.0	4.0-6.0	6.0-10	10-15	>15
Cl meq/L	<1.0	1.0-2.0	2.0-4.0	4.0-6.0	6.0-10	10-15	>15
HCO meq/L	<0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	2.0-4.0	4.0-8.0	8.0-12	>12
CO meq/L	0.0	0.0	0.0	0.0-0.2	0.2-0.5	0.5-1.0	>1.0
P-PO meq/L	<0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-10	>10
NO ₃ ⁻ /K meq/L	<1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-4.0	>4.0
K/Ca meq/L	<0.1	0.1-0.15	0.15-0.2	0.2-0.4	0.4-0.5	0.5-0.75	>0.75
K/mg meq/L	<0.1	0.1-0.15	0.15-0.2	0.2-0.5	0.5-0.8	0.8-1.0	>1.0
Ca/mg meq/L	0.8	0.8-1.0	1.0-1.2	1.2-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	>3.0
Ca/Na meq/L	<0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-3.0	3-5	5-10	>10

4.9.4. Análisis del extracto celular de peciolo (ECP)

El suministro de N, P y K del cultivo y su impacto en su rendimiento agronómico se determinan mediante el análisis del peciolo. Al determinar las cantidades adecuadas para cada elemento en función de la fase de desarrollo, este órgano de muestreo puede diagnosticar el nitrógeno y el potasio con extrema precisión (Castellanos *et al.*, 2000).

Los ionómetros se utilizan para evaluar la savia que se obtiene después de retirar los pecíolos de las hojas para esta investigación (Castellanos *et al.*, 2000).

4.9.5. Ionómetros

El desarrollo de sensores planos muy sensibles ha abierto nuevas opciones para el tipo y la recolección de muestras. Es posible realizar análisis in situ sin vasos de precipitados ni otros equipos de laboratorio, ya que sólo se necesita una cantidad mínima de material (Godoy, 2002).

Dado que evalúa los nutrientes típicamente presentes en las soluciones enriquecidas con fertilizantes, el análisis de nutrientes (macronutrientes y micronutrientes) en agricultura es un elemento crucial. Con estos ionómetros pueden medirse numerosos parámetros, como el pH, la conductividad (CE), el nitrato (NO_3), el calcio (Ca), el sodio (Na), el potasio (K) y la sal (NaCl) (Horiba, 2008).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización del experimento

Este trabajo de investigación se estableció en un invernadero comercial de Teza agricultura sustentable S.A. de C.V. que se ubica en Cuapancingo, en el municipio de Tetela de Ocampo, Puebla, México.

Sus coordenadas geográficas (obtenidas con un GPS portátil eTrex 30x marca Garmin®) son:

- Latitud: 19° 49' 24.30" N
- Longitud: 97° 51' 8.57" O

El invernadero tiene una extensión de 10, 000 m² (Figura 3).

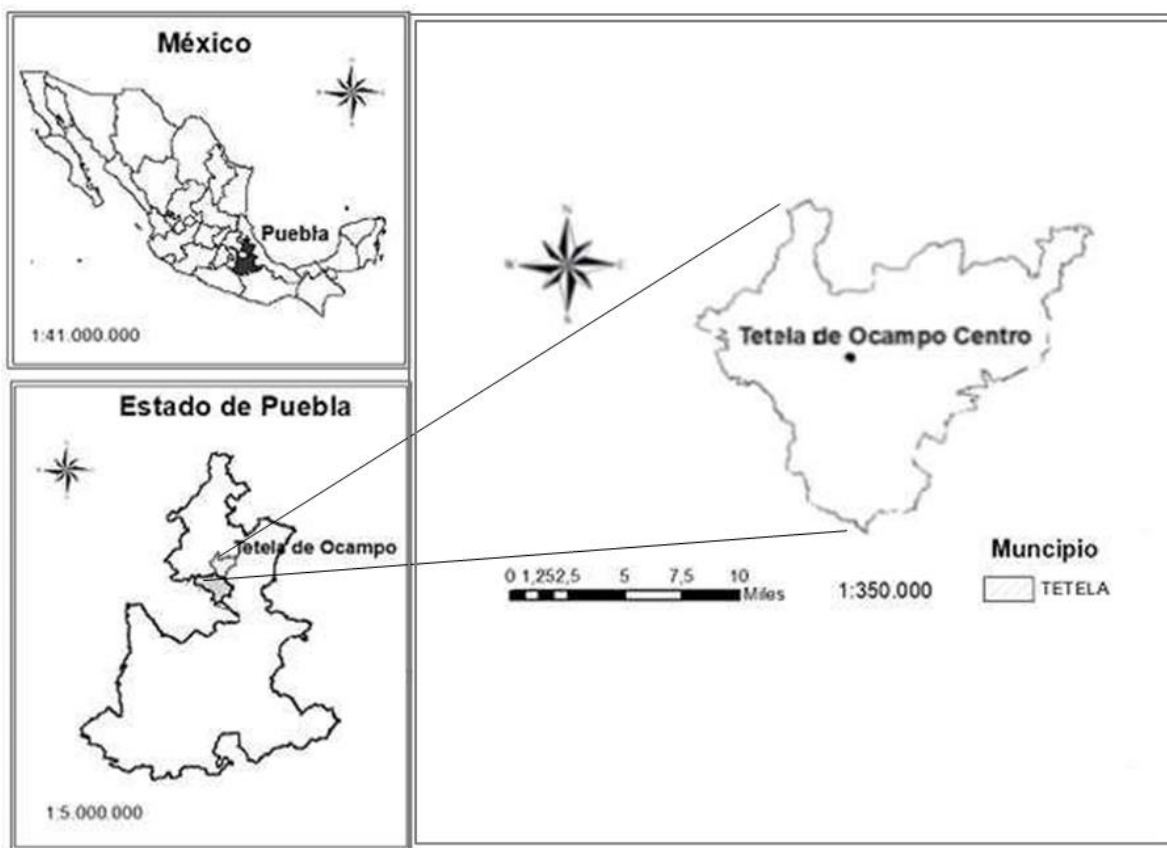


Figura 2. Localización del municipio dónde se desarrolló el experimento.



Figura 3. Localización del invernadero donde se estableció el experimento.

5.2. Material vegetal

Se establecieron tres híbridos de jitomate tipo saladette en la sección de riego 3a del invernadero.

- AH6205 de AHERN®
- Dickens de Enza Zaden®
- Misión de Syngenta®

Las plántulas de los tres híbridos fueron obtenidas a partir de semilla, las cuales fueron sembradas en almácigos de poliestireno de 200 cavidades en el vivero de Teza, utilizando el sustrato a base de 50 % de peat moos y 50 % de perlita y fueron regadas con agua.

En el Cuadro 2 se muestra la solución nutritiva utilizada para regar las plántulas antes del trasplante.

Cuadro 2. Solución nutritiva para riego de las plántulas.

Fertilizante	Dosis por 200 L de agua	Especificaciones
Sulfato de potasio	2.002 kg	
Fosfato de potasio	0.572 kg	
Nitrato de potasio	4.290 kg	
Nitrato de calcio	4.290 kg	
Capitán	1.144 kg	Cantidades por sección
Sulfato de magnesio	4.004 kg	150 L de ácido fosfórico
Quelatos	120 g	por hora
Diafrix	40 g	
Borax	120 g	
Zinc	100 g	

5.2.1. Pre trasplante

El suelo del invernadero es franco arcilloso, cuyas características se desglosan en el Cuadro 3 y antes del trasplante cada cama de cultivo fue abonada con composta de estiércol vacuno.

Cuadro 3. Características de fertilidad del suelo del invernadero.

Textura franco arcillosa	
Conductividad eléctrica	0.23 dS/m
Materia orgánica	1.57 %
Nitratos	12.29 mg/kg
Fósforo disponible	46.70 % mg/kg
Boro	0.61 mg/kg
Calcio	10.50 cmol+/kg
Magnesio	1.60 cmol+/kg
Sodio	0.26 cmol+/kg
Potasio	0.92 cmol+/kg
Capacidad de intercambio catiónico	14 cmol+/kg

El 6 de abril del 2022, el suelo del invernadero fue desinfectado como se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Productos y dosis que se aplicaron para la desinfección del suelo.

Fecha	Productos	Dosis	Descripción
06-abril-22	QU-4	2.5 mL/L	Fumigación
	Arrivo	2.5 mL/L	Se ocuparon en total 200 L
	Power mix	0.5 mL/L	Drench
07-abril-22	Bactirven	2 mL/L	Se utilizaron en total de 250 L de agua, la aplicación se realizó antes de trasplantar
	Interguzan	3 mL/L	

5.3. Obtención de datos

5.3.1. Variables de crecimiento

Se midió altura de planta, diámetro de tallo y distancia entre racimos de cinco plantas por cama, conducidas a doble tallo. El diámetro de tallo fue medido con un vernier digital, el cual fue colocado en la base del tallo de la planta, esto para garantizar que en las siguientes mediciones se tomara justo en el mismo tramo y tener buen control de las mediciones.

La altura de la planta fue medida con un flexómetro, el cual se colocó desde la base del tallo (a ras del suelo) y hasta el ápice de la planta.

La distancia entre racimos se midió con ayuda de una regla, desde la base del tallo al primer racimo y de este racimo al subsecuente y así sucesivamente entre cada uno de los racimos que fue emitiendo la planta, hasta un total de nueve racimos que se evaluaron.

5.3.2. Variables hídricas

La tensión humedad del suelo se midió diariamente antes de cada riego con sensores de matriz granular y el equipo de lectura marca Watermark[®]. Dos sensores fueron ubicados

aleatoriamente por unidad experimental dentro de las doce camas utilizadas en la evaluación. Estos fueron instalados antes del trasplante para evitar daños en la zona radicular, para ello fueron humectados 24 horas antes del establecimiento, puesto que el manual de los sensores así lo indicaba. Los sensores estuvieron seis horas sumergidos en agua, posteriormente se mantuvieron una hora fuera del agua para después se colocaron de nuevo en agua ocho horas y después nuevamente una hora afuera, para que posteriormente se dejaran hidratar por ocho horas y estuvieran listos para ser ubicados en el lugar requerido, cumpliendo así el requerimiento de 24 horas de humedecimiento.

Para el establecimiento de los sensores se eligieron 3 camas al azar dentro de la 3ª sección de riego del invernadero, los sensores se colocaron en las camas de cultivo número 2, 6 y 11, al inicio, en la parte media y al final de estas camas y en cada una de estas posiciones se hicieron dos hoyos con profundidad de 15 y 30 cm con ayuda de un cava hoyos; antes de enterrar los sensores, en un recipiente se hizo una mezcla de suelo y agua con una consistencia de lodo para rellenar los hoyos previamente cavados, posteriormente se introdujeron los sensores y se comprimieron con el suelo humedecido para conseguir un buen contacto entre suelo y sensores, se enterraron y se decidió hacer la medición de la tensión de humedad del suelo (THS) -para corroborar que los sensores funcionaran correctamente, todas las lecturas de los sensores fueron 0.0 cbar, lo que indica que el suelo estaba saturado.

Para la medición, el lector del sensor requiere ingresar la temperatura del suelo ya que esta influye en las lecturas de resistencia eléctrica y por lo tanto de la THS.

5.3.3. Variables nutrimentales

El agua de riego se muestreo y analizó con ionómetros de la marca Horiba® Laqua twin; al inicio, a los 45 y a los 90 días después del trasplante y los parámetros analizados fueron pH, CE, Na, Ca, NO₃ y P.

El extracto de pasta saturada del suelo se obtuvo con lisímetros de succión (chupatubos) cada ocho días, para esto, se utilizó una barrena para obtener muestras de suelo de las camas de cultivo evaluadas, la muestra fue obtenida aproximadamente a 10 cm de la cintilla de riego, con el fin de poder monitorear la dinámica de los nutrientes evaluados y disponibles para las plantas. La muestra compuesta obtenida de cada cama fue de aproximadamente de un kilogramo, la cual se revolvió perfectamente para obtener una

mezcla homogénea de todas las camas, posteriormente se colocó en un recipiente y fue humedecida hasta capacidad de campo, fue entonces cuando se colocaron los lisímetros y después de 40 minutos se obtuvieron las muestras del extracto de la pasta saturadas para ser analizadas con los ionómetros (pH, CE, Na, Ca, P, NO₃ y K).

El extracto celular de peciolo se realizó cada ocho días con ayuda de ionómetros marca Laqua twin[®], para ello se cortaron peciolos de las hojas justo arriba del racimo de frutos cuajados, se colectaron alrededor de 12 peciolos, a los cuales se les quitaron todos los foliolos para únicamente dejar los peciolos, estos fueron llevados al laboratorio para macerarlos con ayuda de un exprimidor de limones de plástico, así obtener un extracto el cual fue analizado con los ionómetros (pH, CE, Ca, Na, NO₃, P y K).

La solución nutritiva se analizó cada 15 días con ayuda del kit de ionómetros marca Laqua twin[®], para esto, justo en el tiempo de inyección de fertilizantes a las líneas regantes se abrió una válvula que se ubica en la sección de riego para obtener la muestra de la solución nutritiva inyectada en cintilla, estas muestras fueron llevadas al laboratorio para ser analizada con cada uno de los ionómetros (pH, CE, Ca, NO₃, K, Na y P).

5.3.4. Variables ambientales

Con ayuda de una estación meteorológica Davis Vantage Pro 2[®] fue medida la temperatura, la humedad relativa y la radiación solar.

Esta estación meteorológica cuenta con su propio software que se instaló en una computadora con ayuda de un disco, el cual automáticamente detecta el dispositivo y baja en formato de Excel la información censada para poder ser utilizada como se requiera.

5.3.5. Rendimiento y calidad

La cosecha de fruto inició a los 89 días después del trasplante, se llevaron a cabo seis cortes en siete semanas.

Se tomaron los frutos de las plantas presentes en la 3ª sección de riego del invernadero; los frutos se clasificaron de acuerdo con los estándares para longitud (mm) y peso (g), según las características que muestran las fichas técnicas de las tres variedades evaluadas.

Para la variedad Dickens de Enza Zaden® en la ficha técnica nos marca frutos de 180-160 g. Para la variedad Misión de Syngenta® la ficha técnica nos marca frutos de 180-200 g y para la variedad AH6205 de AHERN® la ficha técnica nos marca 170-200 g.

Fueron cinco plantas conducidas a doble tallo, establecida en tres tratamientos y cuatro repeticiones por cada uno, en la Figura 4 las plantas elegidas por cada cama para el muestreo se muestran encerradas con un círculo rojo y además se muestra el ordenamiento de cada uno de los tratamientos.

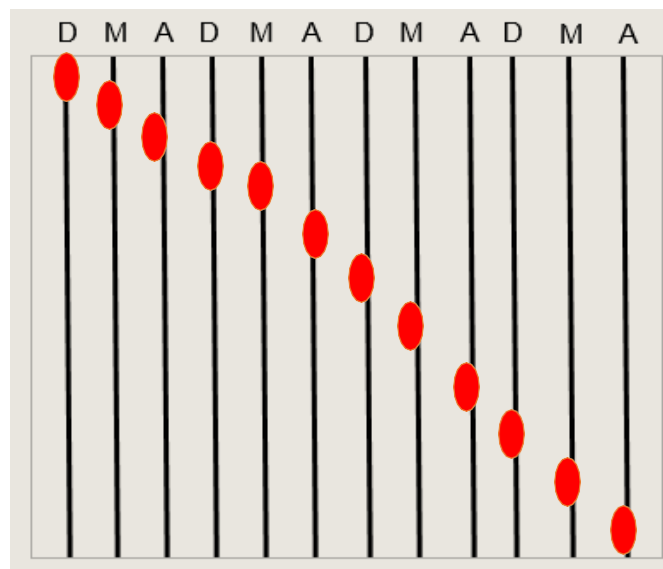


Figura 4. Ordenamiento de los tratamientos en el invernadero.

5.4. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados con un modelo estadístico de bloques completamente al azar con el paquete estadístico SAS versión 9.0. Se realizó una prueba de comparación de Tukey con un alfa de 0.05.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Variables de crecimiento

6.1.1. Altura de planta

En la altura de la planta no se presentaron diferencias significativas entre los híbridos comparados y en promedio alcanzaron una altura de 210.6 cm con incrementos semanales durante la evaluación de 20.7, 21.1, 20.75, 26.5, 29.8, 27.9 y 28.9 cm.

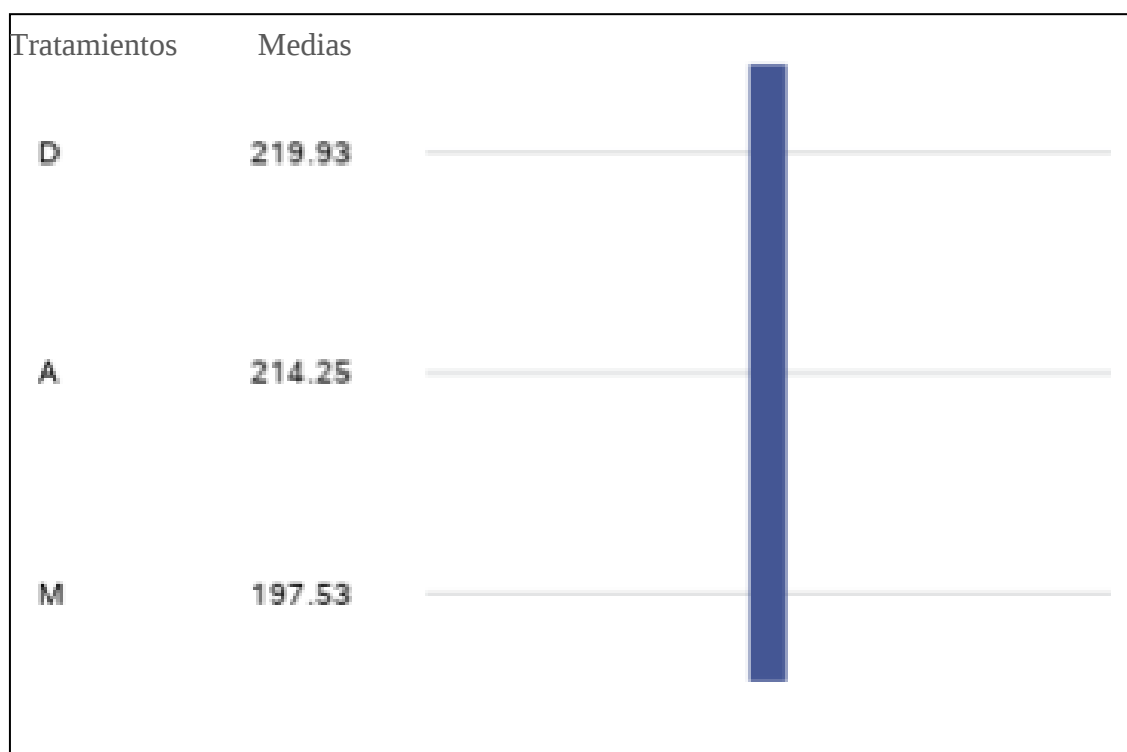


Figura 5. Comparación de los híbridos evaluados con base a la altura de la planta.

Agrupación de tratamientos (Tukey, $\alpha=0.05$); medias cubiertas por la misma barra no son significativamente diferentes; D: Dickens, M: Misión; A: AH6205.

A este respecto, Castellanos (2009) señala que la temperatura tiene un efecto crucial en este aspecto y que la elongación ideal de los cultivares de saladette se sitúa entre 20 y 27 cm por semana. Además, se ha confirmado que la característica fenotípica de la altura de la planta varía dependiendo de la variedad (Van der Ploeg *et al.*, 2007), y esto se vio reflejado en los resultados del estudio.

Gómez *et al.* (2003) mencionan que una de las principales ventajas de los híbridos es la relativa facilidad para introducir resistencia a patógenos como nematodos, hongos y virus, así como características deseadas por los efectos genéticos de las plantas madre.

6.1.2. Diámetro del tallo

En diámetro de tallo AH6205[®] presentó el mayor promedio (11.6 mm), pero estadísticamente igual a Misión[®] (11.1 mm) y ambos mayores que Dickens[®] (10.8 mm).

Según Beltrano y Giménez (2015), un tallo delgado no tiene ningún efecto sobre la producción de frutos; más bien, hace que el tallo sea menos frágil y facilita el mantenimiento de la planta. Valores de diámetro comparables a los observados en este experimento fueron reportados por Pérez-Rodríguez (2017) y tampoco encontró diferencias significativas durante su experimento.

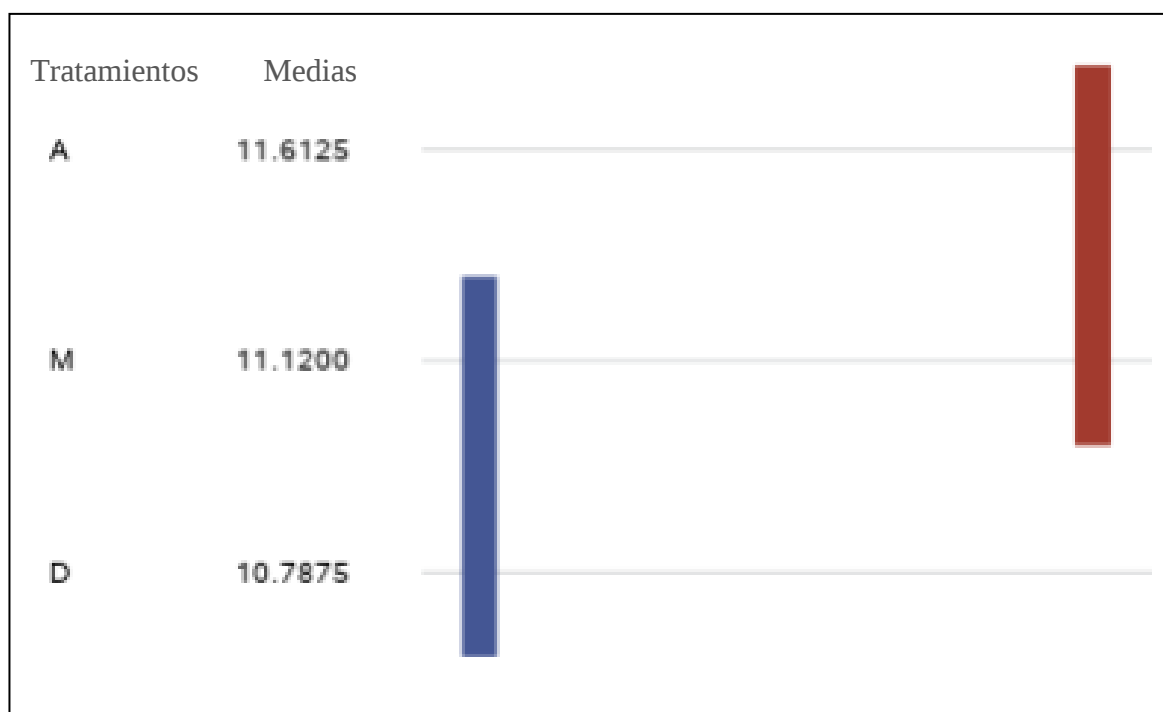


Figura 6. Comparación de diámetro de tallo entre los híbridos estudiados. Agrupación de tratamientos (Tukey, $\alpha=0.05$); medias cubiertas por la misma barra no son significativamente diferentes; D: Dickens, M: Misión; A: AH6205.

Moorby (1981) señala que una mayor superficie de parénquima implica una mayor reserva de asimilados utilizables en el fruto en crecimiento y una mayor superficie de xilema permite un mayor transporte de agua y nutrientes a los órganos reproductores, el diámetro del tallo no afecta a la productividad de la planta.

6.1.3. Distancia entre racimos

El número de racimos de los tres híbridos durante el período de evaluación fue significativamente diferente y Dickens® presentó 11, AH6205® tuvo 9 y Misión® fue el menor con 8. Por su parte, la distancia entre racimos fue mayor en AH6205® (28.6 cm), pero estadísticamente igual a Dickens® (26.2 cm) y superiores a Misión (24.8 cm) esto se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Número de racimos y distancia entre racimos por tratamiento.

Tratamiento	Número de racimos	Promedio de distancia entre racimos (cm)
1	11 a	26.2 ab
2	8 c	24.8 b
3	9 b	28.6 a
CV	16.83	12.17
DMSH	1.0629	3.2463

Tratamientos con la misma letra por columna no difieren significativamente ($\alpha=0.005$)
 Tratamiento 1=Dickens; Tratamiento 2=Misión; Tratamiento 3=AH6205; CV= coeficiente de variación; DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

Al respecto, Vargas-Canales *et al.* (2014) sugirieron que la distancia del racimo y la altura de la planta tienen una correlación directa y que ambas variables indican el vigor de la planta. Por otro lado, los hallazgos de este estudio son notablemente comparables con los publicados por Van der Ploeg *et al.* en 2007, quienes observaron una distancia promedio del tomate de 30 cm. Chávez-Garca (2013) reportó 31 cm en campo abierto y 28,8 cm bajo malla sombra para la variedad Cid. Barrios *et al.* (2015) reportaron que el promedio para el híbrido

Annibal fue de 34,1 cm y de 24,7 cm para el híbrido Reserva. Como se puede observar, estos resultados son muy comparables a los del presente estudio.

6.2. Variables hídricas

En la Figura 7 se muestra la variación de la Tensión de humedad del suelo (THS) durante el ciclo de cultivo y es importante señalar que con base a los valores observados diariamente se tomaron decisiones sobre la oportunidad y dosificación del riego.

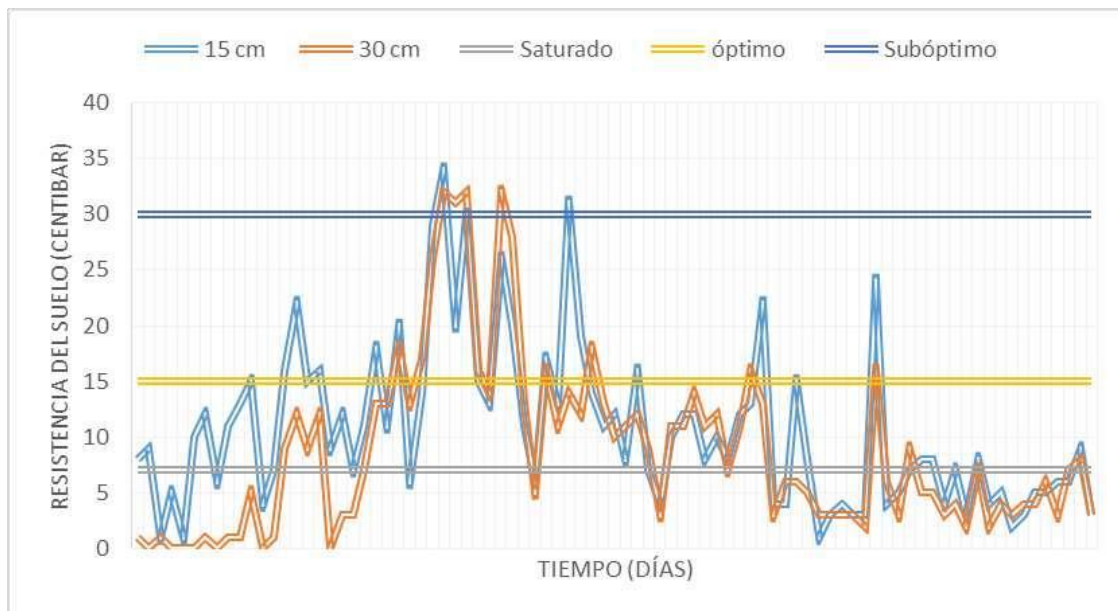


Figura 7. Comportamiento de la THS (cbar) con respecto a los días después del trasplante.

Según Castellanos (2009), el suelo de textura media está prácticamente saturado entre 0 y 7 cbar, condición que adquiere tras un riego normal, y cuando ésta se mantiene durante un periodo prolongado de tiempo, la planta puede experimentar asfixia. Sin embargo, el sistema radicular y el hecho de que la planta tenga un bulbo de humedad reducido hacen que, en condiciones normales, en poco tiempo, la humedad se redistribuya, aumente la tensión y la planta sobreviva. Para la mayoría de los cultivos, se consideran ideales valores comprendidos entre 8 y 15 cbar; el valor inferior suele producirse después del riego y el valor superior sugiere que debe activarse el riego. A la hora de fijar los parámetros de riego debe tenerse en cuenta el estado fenológico del cultivo. Un THS más bajo puede ser necesario cuando determinadas etapas fenológicas coinciden con circunstancias meteorológicas singulares,

como es el caso de la etapa de desarrollo del fruto del tomate cuando se dan altas temperaturas y baja humedad relativa. La falta de humedad puede perjudicar el rendimiento agrícola cuando los valores de THS se sitúan entre 16 y 30 cbar, aunque hay que tener en cuenta que los distintos cultivos reaccionan de forma diferente a los niveles de estrés. Dependiendo del estado fenológico del cultivo y de la climatología, estas cifras pueden variar.

6.3. Variables nutrimentales

6.3.1. Agua de riego

Se realizaron tres análisis de agua de riego durante todo el establecimiento del experimento, en el Cuadro 6 se muestran los valores de cada uno de los parámetros evaluados, para tener una interpretación correcta de los resultados obtenidos es necesario tomar en cuenta los rangos definidos como normales para el agua de riego agrícola y en esta investigación se tomaron en cuenta los empleados por García (2012).

Cuadro 6. Parámetros nutricionales del agua de riego en diferentes fechas de establecimiento del cultivo.

Fecha	Etapa	Parámetro						
		pH	CE	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	NO ₃ ⁻	P
			mS/m	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
08/04/22	Inicio	9.3	0.300	0	10	25	31	2
23/05/22	45 ddt	8.3	0.416	11	5	83	48	1
07/07/22	90 ddt	8.6	0.396	18	7	49	39	2
	Promedio	8.7	0.400	10	7	52	39	2
	Valor normal	6.5-8.5	0-3	0-2	0-40	0-20	0-10	0-2
	Condición	Alto	Normal	Alto	Normal	Alto	Alto	Normal

ddt: días después del trasplante.

Como se puede observar nuestra agua de riego tiene alto contenido de potasio, calcio y nitratos, además de tener un pH alto.

Como se muestra en el Cuadro 6, el nivel del potasio es de 10 mg/L. Un alto contenido de potasio no suele ser un problema para el desarrollo de las plantas, afirma Ingram (2014).

Niveles superiores a 10 mg/L pueden ser señal de que los fertilizantes u otras fuentes artificiales han contaminado el agua. Las concentraciones en el agua son útiles simplemente para determinar los requisitos generales de fertilización para las plantas que reciben el agua de riego, siendo así un factor que no limita en nuestra experimentación.

Según Ingram (2014), el agua tiene una alta concentración de calcio cuando presenta niveles de 52 mg/L. Las concentraciones de calcio en el agua suelen ser un reflejo del tipo de roca de la que procede el agua.

Mientras que las fuentes de agua de las regiones de arenisca o arena/grava suelen tener bajas concentraciones de calcio, las aguas subterráneas y los arroyos de las zonas calcáreas suelen tener mayores niveles de calcio.

Además de presentar las características ya descritas, presenta altos niveles de nitratos, con un contenido de 39 mg/L. Ayers y Westcot (1985) afirman que un exceso de nitrato en el agua de riego puede perjudicar a los cultivos al promover un crecimiento vegetativo excesivo, que retrasa la madurez y degrada la calidad. Esto sugiere que hay que reprogramar la fertilización nitrogenada, disminuyendo los volúmenes de aplicación e intentando equilibrar otros nutrientes. También habría que pensar en utilizar especies o tipos menos vulnerables al impacto mencionado o minimizar la cantidad de agua que hay que aplicar. Adicionalmente da indicación de los posibles problemas a los equipos de riego por oclusión de tuberías y aspersores en el mantenimiento de los canales por exceso de crecimiento de vegetación en ellos, es por eso que el transcurso del experimento el riego se programó en tres fases, llenado de cintilla, inyección de fertilizantes y lavado de la cintilla para evitar la obstrucción.

Además, en el análisis del agua de riego arroja que tenemos un pH de 8.7, según James y Will (1999), un pH elevado ($>7,0$) puede reducir la disponibilidad de una serie de metales y minerales, dando lugar a síntomas de deficiencia. El aumento de la alcalinidad suele ir acompañado de un pH elevado. La inyección de ácido o, en raras situaciones, el uso de un fertilizante ácido puede ayudar con los problemas de pH alto.

En base a los resultados anteriormente expuestos, el agua de riego utilizada en el cultivo de jitomate tipo saladette en invernadero puede considerarse aceptable siempre y cuando se ajusten los planes de fertirrigación a la condición del agua y además la aplicación

de ácido fue necesaria y se utilizaron ácido fosfórico y nítrico a razón de 150 L/ha para reducir el pH.

6.3.2. Nutrición del cultivo

En el siguiente apartado se mencionan todos los resultados con relación a extracto de pasta saturada, extracto celular de peciolo y análisis de la solución nutritiva y su interpretación para ajustar los planes de fertilización. El ciclo del cultivo se dividió en cinco etapas: 45, 75, 90, 120 y >120 días después del trasplante (ddt).

A continuación, se presentan los resultados de extracto celular de peciolo, extracto de pasta saturada y el análisis de la solución nutritiva y su interpretación. En el Cuadro 7 se muestran los resultados de extracto celular de peciolo.

Cuadro 7. Análisis del extracto celular de peciolo (ECP) en el cultivo de jitomate tipo saladette en invernadero.

Fecha	Análisis	Parámetros						
		pH	CE	K ⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻
			mS/m	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L
23/05/22	ECP	5.3	7.29	87.17	21.00	4.34	41.93	18.70
45 ddt	Interpretación	B	B	C	A	C	B	A
22/06/22	ECP	5.3	6.87	184.61	24.00	5.73	29.03	18.70
75 ddt	Interpretación	B	B	A	A	C	B	A
07/07/22	ECP	5.4	6.54	176.92	21.00	7.17	37.09	20.00
90 ddt	Interpretación	B	B	A	A	A	B	A
06/08/22	ECP	5.6	5.20	125.64	8.5	9.13	53.22	29.67
120 ddt	Interpretación	B	B	C	B	A	C	A
16/08/22	ECP	5.7	5.08	120.51	6.5	10	59.67	32.90
>120 ddt	Interpretación	B	B	C	B	A	C	A

ddt: días después del trasplante; A: alto; B: bajo; C: correcto o adecuado.

La mayoría de las proteínas que controlan la homeostasis de los cationes son activadas por H-ATPs, estas liberan iones de hidrógeno en el citosol y el apoplasto. La movilidad,

concentración y distribución de los cationes dentro de las células puede tener un impacto en el pH (White, 2003). El pH de las ECP de esta investigación era a menudo algo inferior al rango aceptable (5.9 a 6.3), lo que probablemente explica que las concentraciones de K^+ y Na^+ fueran mayores.

La CE del ECP tendió a disminuir a medida que avanzaba el ciclo del cultivo, aunque los valores eran muy inferiores al intervalo que suele considerarse adecuado (14 a 17 dS/m). Estos resultados fueron provocados por el aumento de la dosis de fertilización, pero también pueden estar relacionados con la temperatura demasiado elevada, que impidió la transpiración de las plantas, deteniendo el flujo de nutrientes desde la solución del suelo, o con una obstrucción de iones en el suelo provocada por desequilibrios de nutrientes, fijación de nutrientes o precipitaciones provocadas por el pH y la clase de suelo.

El potasio juega un papel importante en la respuesta de las plantas al estrés por salinidad (Maathius, 2006). En este experimento la concentración de K^+ y Na^+ en ECP siempre se mantuvieron en el rango correcto o alto

El calcio de la planta es un nutriente inmóvil que apenas es re movilizado y redistribuido por el floema una vez que ha sido liberado del xilema en tejidos y órganos donde la transpiración es mayor (Tang, 2017). Dado que puede ser quelado en la savia del xilema por ácidos orgánicos como el malato o el citrato, la fracción de Ca^{2+} total también fluctúa (White, 2003).

Además, el calcio es un ion divalente y conforme los iones aumentan en valencia su absorción disminuye (Marschner, 2011), al respecto Huez-López *et al.* (2011) mencionan que elevadas concentraciones de Na^+ en el suelo puede tener un efecto adverso en la absorción de Ca^{2+} . En este experimento, aunque no existieron síntomas de deficiencia de Ca^{2+} , en las últimas etapas del cultivo se registraron concentraciones bajas de Ca^{2+} y altas de Na^+ .

En las primeras fases del cultivo, se encontró una baja concentración de NO_3^- en la ECP. Huett y White (1991) señalan que la cantidad de NO_3^- en el ECP y en el tallo en diferentes estados fenológicos del cultivo es un índice relacionado con la respuesta de la planta a las condiciones nutricionales donde se desarrolla. Esta información también permite estimar la producción y establecer prácticas para equilibrar la nutrición del cultivo ajustando la cantidad y/o el tipo de fertilizante a aplicar (Nielsen, 1971); Además, un suministro

suficiente de NO_3^- está relacionado con altos niveles de actividad fotosintética, niveles óptimos de clorofila, fuerte desarrollo vegetativo y síntesis de carbohidratos, lo cual influye en el rendimiento (Castro *et al.*, 2004).

Con respecto a la alta cantidad de P-PO_4^- Bidwell (1986), señala que el transporte de nutrientes tiene lugar por las vías más directas al sitio de demanda más cercano, no a la más fuerte, en este caso la raíz aprovecha primeramente los nutrientes debido al poco suministro con que se cuenta y por lo tanto reduce las cantidades de nutrientes del que pudiera disponer el resto de la planta habiendo con ello que la tasa de crecimiento sea menor, sin embargo, al haber mayor cantidad de nutrientes como las dosis altas, la raíz se nutre, pero hay excedente de nutrientes que al no ser aprovechados por ésta, pasan a los órganos más cercanos siendo estos el tallo y hojas que al crecer incrementan su demanda, y se convierten en las regiones más activas de la planta. Esto también puede ser influenciado por las temperaturas ambientales registradas produciendo una mayor actividad metabólica en estos órganos aéreos.

Por otra parte, para tener un mejor panorama acerca del fertirriego, se analizó la solución nutritiva conjuntamente con el extracto de pasta saturada para saber la relación de agua-suelo.

La solución nutritiva debe analizarse cada dos semanas, y en casos especiales como un cambio repentino en la fertilización del cultivo o errores en los cálculos o en la mezcla de fertilizantes, el análisis debe hacerse de inmediato. Esto permite la ejecución de un programa de fertilización idóneo y eficaz ya que la planta no absorbe los nutrientes en la misma cantidad a lo largo del ciclo porque lo hace dependiendo de la etapa fisiológica en la que se encuentre.

Por lo cual en el Cuadro 8 se muestran los resultados obtenidos al analizar la solución nutritiva.

Cuadro 8. Análisis de la solución nutritiva (SN) en el cultivo de jitomate.

Fecha		Parámetros					
	pH	CE mS/m	K ⁺ meq/L	Ca ²⁺ meq/L	Na ⁺ meq/L	NO ₃ ⁻ meq/L	PO ₄ ⁻ meq/L
23/05/22 45 ddt	7.7	0.831	4.61	6.7	0.30	6.12	0.96
22/06/22 75 ddt	6.9	1.09	7.43	9.0	0.43	8.58	1.70
07/07/22 90 ddt	6.7	1.24	15.12	6.0	0.91	10	2.09
06/08/22 120 ddt	6.4	2.15	28.20	2.75	1.30	15.48	0.77
16/08/22 >120 ddt	6.4	2.31	38.46	1.8	1.47	16.12	0.61

ddt: días después del trasplante.

Los resultados del extracto de pasta saturada (EPS) se muestran en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Análisis del extracto de pasta saturada (EPS) en el cultivo de jitomate tipo saladette en invernadero.

Fecha		Análisis		Parámetros				
		pH	CE mS/m	K ⁺ meq/L	Ca ²⁺ meq/L	Na ⁺ meq/L	NO ₃ ⁻ meq/L	PO ₄ ⁻ meq/L
23/05/22	EPS	7.9	0.84	1.87	7.00	0.74	4.67	0.16
45 ddt	Interpretación	A	B	B	B	C	B	A
22/06/22	EPS	7.5	1.18	3.58	21.00	1.56	3.87	0.26
75 ddt	Interpretación	A	B	C	A	C	B	A
07/07/22	EPS	7.5	1.21	3.97	22.50	2.43	4.48	0.29
90 ddt	Interpretación	A	B	C	A	C	B	A
06/08/22	EPS	7.2	1.19	7.94	11.25	1.34	7.25	0.51
120 ddt	Interpretación	A	B	A	A	C	C	A
16/08/22	EPS	7.3	1.15	8.71	7.00	1.30	8.38	0.64
>120 ddt	Interpretación	A	B	A	B	C	C	A

ddt: días después del trasplante; A: alto; B: bajo; C: correcto o adecuado.

Según Alarcón (2000), la correcta neutralización del ion HCO_3^- presente en la solución nutritiva (SN) permitirá alcanzar un pH de entre 6.0 y 7.0, mientras que a la salida del gotero el pH será de 5.5 a 6.5. En nuestro caso, tanto la SN como el EPS mostraron inicialmente valores de pH elevado antes de caer en los rangos aconsejados. Lo anterior sugiere que el uso de ácidos para neutralizar los bicarbonatos del agua de riego es crucial para reducir los efectos desfavorables de un pH alto, ya que asegura el crecimiento de las raíces en un bulbo húmedo con un pH adecuado para la absorción de nutrientes.

Debido a la mayor capacidad de retención de agua de los suelos de textura fina, el análisis EPS tiene en cuenta el efecto de dilución de la sal que se produce en determinados tipos de suelo. En consecuencia, el CE del EPS puede utilizarse para estudiar el impacto de la salinidad en el rendimiento de los cultivos U.S.S.L (1954).

La CE de la solución nutritiva es una medida de la fuerza iónica de la solución, según INIA (2011) el caso del tomate, los valores de la CE se clasifican en: bajo (< 2) y no tiene efecto sobre el crecimiento, leve (2 a 4) existe un leve efecto en el crecimiento, alto (4 a 8) disminuye el rendimiento, muy alto (8 a 16) pocos cultivos soportan estas condiciones y extremadamente alto (> 16) existen mayores restricciones para los cultivos que el anterior, en el presente experimento resultó que la CE se mantuvo siempre baja, esto provoca deficiencias nutrimentales, lo cual probablemente se dio, debido a condiciones ambientales dentro del invernadero que fueron poco favorables lo que, afectó la absorción nutrimental.

Dado que el NO_3^- es un anión muy móvil y una vez en el suelo, no participa en reacciones de intercambio con el complejo absorbente del suelo, lo que lo hace inmediatamente disponible para las plantas tras la aplicación. En consecuencia, en el momento del muestreo, la planta probablemente ya había consumido parte del NO_3^- aplicado, razón por la cual la concentración en el suelo disminuyó en las tres primeras fases del cultivo. Por su parte Cano y Rojo (2004) plantean que el monitoreo de N en el suelo es importante no solo para diagnosticar un exceso del mismo, además una baja concentración puede ser un indicativo no solo de deficiencia, también, de un excesivo régimen de riego con peligros de lixiviación y contaminación de las aguas subterráneas.

En las últimas etapas de crecimiento del jitomate el NO_3^- se comporta adecuado, según Hernández *et al.*, (2007), el N aumenta en periodos de primavera-verano por los

procesos de mineralización de la materia orgánica, ya que estos, se ven favorecidos por las altas temperaturas y una humedad relativa favorable.

Los iones K^+ , NO_3^- , NH_4^+ , y $H_2PO_4^-$ son todos categorizados por Guzman (2006) como elementos de rápida absorción que pueden ser rápidamente eliminados de una solución en pocas horas. Según Casas (1999) y Lao *et al.* (2004), la fuerte demanda de los cultivos de alto rendimiento, su rápida absorción, el equilibrio entre los procesos vegetativos y generativos y las características del suelo afectan al comportamiento del K^+ .

Según Triana (2001), la composición de los elementos absorbidos depende de la composición del suelo; si el suelo tiene una mayor proporción de Ca^{2+} absorbido, éste se trasladará a la solución del suelo cuando se añadan fertilizantes solubles. Esta es la razón por la que el Ca^{2+} , era elevado en varias fases del cultivo.

Dado que altas concentraciones de otros cationes de absorción rápida presentan antagonismo y un efecto competitivo, Alarcón *et al.* (2006) observaron que la concentración del ion Na^+ afecta a la absorción de Ca^{2+} por la raíz. Como resultado, al final del cultivo, el sodio está presente en condiciones ideales y el calcio en niveles bajos.

Con base a lo señalado previamente, en el Cuadro 10 se muestran las dosis recomendadas en cada etapa de desarrollo (Castellanos, 2004) y que sirvieron de referencia para ajustar los programas de fertilización en cada una de las etapas del cultivo.

Cuadro 10. Dosis recomendadas para el jitomate en el suelo en invernadero para cinco etapas de desarrollo.

Nutrimiento	45 ddt	75 ddt	90 ddt	120 ddt	>120 ddt
kg/ ha/ día					
N	0 a 2	2 a 3.5	4 a 5	6 a 9	3
P_2O_5	1 a 3	1.5 a 2	1 a 1.5	1 a 1.5	0.3
K_2O	2 a 3	3.5 a 5	5 a 7	8 a 12	3 a 4
Ca	1.5 a 3	2 a 3.5	2.5 a 4	4.5 a 5	2
mg	0.6 a 1	1 a 2	2 a 2.5	2 a 2.5	1

Fuente: Castellanos (2004)

Teniendo en cuenta los parámetros evaluados y recomendaciones, fue ajustado el plan de fertilización este se muestra en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Plan de fertilización para el cultivo de jitomate tipo saladette en invernadero.

Fertilizante	45 ddt	75 ddt	90 ddt	120 ddt	>120 ddt
			kg/ha*		
Nitrato de calcio	n.a.	16.800	16.800	20.000	20.000
Nitrato de potasio	6.400	8.400	8.400	10.800	10.800
Fosfato monopotásico	4.200	3.200	3.200	3.200	3.200
Sulfato de potasio	2.200	4.800	4.800	8.000	8.000
Sulfato de magnesio	14.800	18.000	18.000	14.000	14.000
Mezcla física 31-03-03	4.200	5.400	5.400	3.000	3.000
Quelato de zinc	8.800	0.600	0.150	0.150	0.150
Borax	0.060	0.150	0.600	0.600	0.600
Mezcla de quelatos	n.a.	0.800	0.800	0.800	0.800
Diafix	n.a.	0.160	0.160	0.160	0.160
Supra Ca (L/ha)	n.a.	n.a.	2.000	2.000	2.000
Fosfito Mg (L/ha)	n.a.	n.a.	n.a.	0.500	0.500
Factor coloidal (L/ha)	n.a.	n.a.	n.a.	1.250	1.250
Supra K (L/ha)	n.a.	n.a.	n.a.	2.000	2.000
Supra engorde (L/ha)	n.a.	n.a.	2.000	n.a.	n.a.

*Excepto donde se especifique otra unidad

El monitoreo continuo del estado nutrimental de la planta de jitomate en invernadero fue fundamental para ajustar las dosis de fertilizantes aplicados y mantener las concentraciones y valores de los parámetros evaluados dentro de los rangos de referencia considerados como adecuados en cada etapa de desarrollo del cultivo, es decir, mejoró el control nutrimental para optimizar su crecimiento.

6.4. Variables ambientales

6.4.1. Temperatura

La temperatura registrada dentro del invernadero durante 100 días del cultivo de jitomate se muestra en la Figura 8. De los registros se obtuvo que los promedios de temperatura fueron 35.5 °C de máxima, 12.1 °C de mínima y en general fue de 23.8 °C. La temperatura es el factor más crucial, pues controla muchos procesos fisiológicos y la fenología de la planta

Según Allende *et al.* (2017), el rango ideal para la floración del tomate se sitúa entre 18 y 25 °C. Cuando la temperatura alcanza los 35 °C, se produce el aborto floral, y cuando es inferior a 13 °C, se producen problemas de cuajado y frutos malformados.

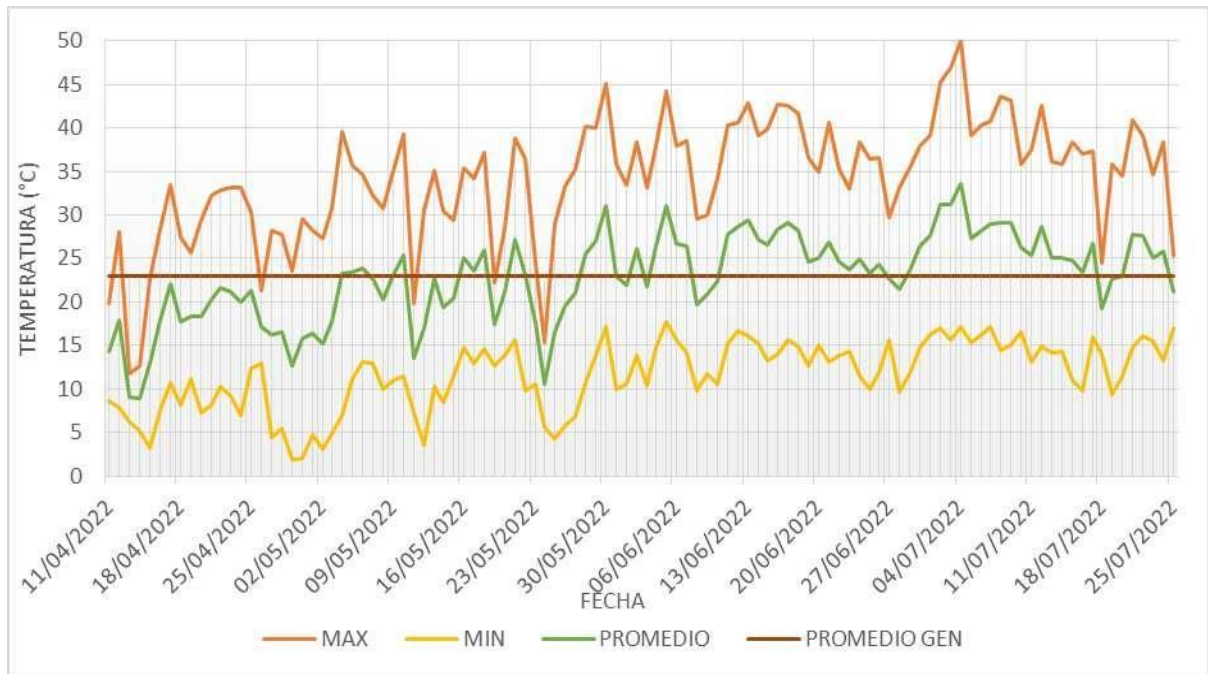


Figura 8. Temperatura registrada dentro del invernadero de jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) en Tetela de Ocampo, Puebla.

El incremento de la temperatura produce durante la fase de meiosis un gran problema en la generación del polen, en la que tanto la viabilidad como la cantidad de polen generado se ven obstaculizadas (Sato *et al.*, 2002). La viabilidad del polen disminuye cuando se genera a temperaturas superiores a 35 °C, respondiendo cada cultivar de forma diferente a este fenómeno (Peet *et al.*, 1997). Según nuestro experimento, se presentaron temperaturas más altas y más bajas que las recomendadas, por lo cual fue observado un menor cuajado de fruto y algunas malformaciones en los frutos por las condiciones ambientales, en este caso, la temperatura registrada dentro del invernadero.

6.4.2. Humedad relativa

La humedad relativa registrada dentro del invernadero se muestra en la Figura 9, como se observa en la gráfica y con el promedio de los valores registrados, la humedad relativa máxima fue 84% y la mínima 40.6 %.



Figura 9. Humedad relativa registrada dentro del invernadero de jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) en Tetela de Ocampo, Puebla.

Los valores registrados durante el experimento fueron diferentes a los establecidos por Allende *et al.* (2017), quienes señalan que los valores entre 60 y 70 % son el rango ideal para una polinización adecuada; los valores más altos conducen a la compactación del polen, lo que perjudica la polinización, mientras que los valores por debajo de 60 % disminuyen la fijación del polen al estigma de la flor en el momento de la polinización. De acuerdo con lo expuesto anteriormente, la media global observada en el invernadero fue del 62,3 %, que es la ideal.

Según Escobar y Lee (2009), la humedad relativa óptima está entre 60 y 85% y necesita de 6 a 8 horas diarias para el desarrollo, crecimiento y fertilidad del cultivo de tomate.

6.4.3. Radiación solar

La radiación solar registrada dentro del invernadero durante el ciclo del cultivo se muestra en la Figura 10, en la gráfica se observa que el promedio general fue de 10.6 MJ/m²/d.



Figura 10. Radiación solar registrada al interior de un invernadero cultivado con jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en Tetela de Ocampo, Puebla.

La radiación registrada dentro del invernadero durante el ciclo de cultivo fue en promedio general de 10.6 MJ/m²/d. Jasso *et al.* (2012) hacen las siguientes puntualizaciones al respecto: valores de radiación total diaria en torno a 0.85 MJ/m² son umbrales mínimos para la floración y el cuajado de frutos; es preferible una mayor iluminación durante periodos de tiempo más cortos que una baja iluminación durante periodos de tiempo más largos; una iluminación limitada provoca una reducción de la fotosíntesis neta e implica una mayor competencia por los productos asimilados, con impacto en el desarrollo y la producción. La radiación más baja registrada en el invernadero fue 4.2 MJ/m²/d y la más alta fue 16.4 MJ/m²/d, valor similar a los indicados por Castellanos (2009) de 14 a 16 MJ/m²/d para que el cultivo de tomate produzca con mínimas restricción fotosintética.

6.5. Calidad

La norma NMX-FF-031-1997-SCFI (Norma mexicana para tomate, 1998), entre otras cosas determina la forma, el color y el tamaño, como se describe enseguida.

6.5.1. Calidad de fruto

Los tomates deben presentar la forma típica de la variedad, misma que está en función del tipo de tomate. Al evaluarse la homogeneidad del producto de acuerdo a su forma, los tomates se dividen en bien formados, razonablemente bien formados y malformados como se muestra en el cuadro 12.

La forma se determina por el índice obtenido de dividir el diámetro polar entre el diámetro ecuatorial. Para el tipo bola sus valores son menores a la unidad y para el tipo alargado sus valores son mayores a la unidad estos valores son estandarizados por la norma NMX-FF-9-1982 (Norma mexicana para diámetro de frutas, 1982).

Cuadro 12. Características de los tamaños de frutos.

	a. Tipo bola		b. Tipo alargado	
Tamaño	Diámetro mínimo (mm)	Diámetro máximo (mm)	Diámetro mínimo (mm)	Diámetro máximo (mm)
Chico	54	58	38	52
Mediano	57	64	52	60
Grande	63	71	61	71
Extra grande	70	En adelante	70	En adelante

Fuente: Norma mexicana para tomate (1998).

En el Cuadro 13 se presentan los números de frutos por clasificación en cada una de las variedades evaluadas, como se puede observar el híbrido Dickens fue el que mostró mejor forma puesto que en la clasificación bien formados presenta mayor número de frutos respecto a las demás, en la clasificación regularmente bien formados y malformados no existen diferencias significativas entre los híbridos evaluados.

Cuadro 13. Clasificación según la forma del fruto de jitomate tipo saladette.

Tratamiento	Clasificación		
	Bien formados	Regularmente formados	Mal formados
Dickens®	96.00 a	82.66 a	55.00 a
Misión®	88.66 b	82.00 a	46.83 a
AH6205®	69.00 c	77.33 a	55.00 a
CV	13.95	16.79	21.22
DMSH	18.67	21.44	17.49

Letras iguales no representan diferencias significativas; ($\alpha=0.05$); CV: coeficiente de variación; DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Para evitar el agrietamiento de los frutos, según Hao y Papadopoulos (2004), los valores de conductividad eléctrica de los frutos deben ser superiores a 3.5 mS/m y no inferiores a 2.5 mS/m. En este estudio, sin embargo, los valores medios de conductividad eléctrica se situaron por debajo de este valor, lo que puede atribuirse a la proporción de frutos normalmente formados y malformados.

6.5.2. Tamaño del tomate

En el Cuadro 14 se muestra el número de frutos clasificados por tamaño y obtenidos en cada híbrido evaluado según NMX-FF-009 (norma mexicana para diámetro de frutas, 1982). Los frutos extra grandes se obtuvieron en mayor cantidad con AH6205®, sin embargo, no tiene diferencias significativas con Dickens®. Por su parte Misión® fue el de mayor número de frutos grandes.

Cuadro 14. Clasificación por tamaño de fruto de jitomate tipo saladette.

Tratamiento	Tamaño				
	Chico	Mediano	Grande	Extra grande	Total
Dickens®	49.33 a	77.16 a	101.17 a	5.33 a	116.49
Misión®	23.88 b	57.50 b	112.67 a	3.83 a	197.88
AH6205®	37.16 ab	66.50 ab	110.83 a	6.50 a	220.99
CV	40.17	16.03	19.32	68.65	535.36
DMSH	23.38	17.08	33.09	5.67	

Letras iguales no representan diferencias significativas; ($\alpha=0.05$). CV: coeficiente de variación; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; Fuente: Norma mexicana para tomate (1998).

Según su filotaxia, el número de hojas que sirven de fuente de asimilados está estrechamente relacionado con el número de frutos, como señalan Russell y Morris (1983). También señalan que cuando se podan los frutos, los asimilados son atraídos hacia los frutos cercanos, lo que aumenta su peso y tamaño.

Moorby (1981) indica que una mayor área de parénquima implica mayor reserva de asimilados que pueden ser utilizados en el fruto en crecimiento, con respecto a lo anterior, el tallo más grueso y número de frutos extra grandes fue AH6205®.

6.6. Rendimiento

En la Figura 11 se presenta una gráfica del análisis estadístico por Tukey, lo que se puede observar las diferencias entre tratamientos.

En el rendimiento total de frutos cosechados no hubo diferencia significativa entre los tres híbridos evaluados y en general se obtuvo un promedio general de 18.4 kg/m². Es importante señalar que el número total de racimos fue diferente entre los materiales genéticos evaluados y considerando este aspecto, con Misión® fue mayor el rendimiento promedio por racimo cosechado (0.631 kg) y muy similar a AH6205® (0.599 kg), pero ambos significativamente mayores que con Dickens® (0.482 kg), lo cual se corrobora más adelante con el tamaño y número de frutos.

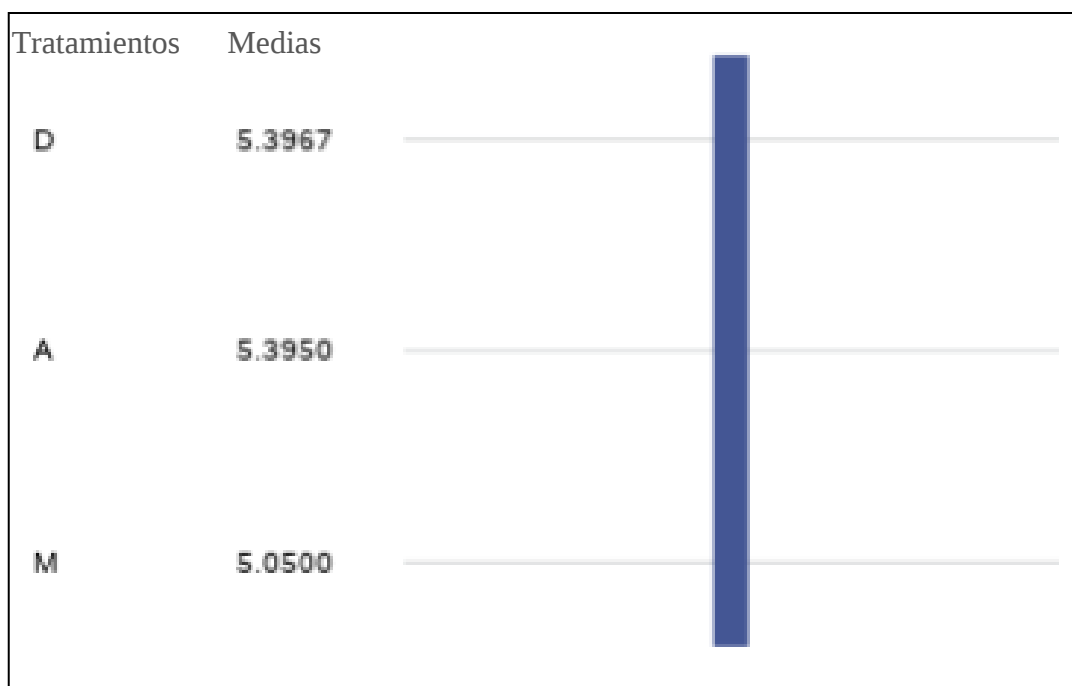


Figura 11. Rendimiento de las variedades evaluadas.

Agrupación de altura con Tukey para medias de tratamientos ($\alpha=0.05$) Medias cubierta por las mismas barras no son significativamente diferentes.

De acuerdo a la investigación de Cuiris (2005), se reporta el rendimiento de 5.2 a 4.4 kg/planta con fertilización química, valores similares a los obtenidos en la presente investigación.

Fonseca (2006), menciona que para que la producción sea redituable deben obtenerse por lo menos 15 kg/m², en el presente experimento se registraron valores más altos de Dickens® con 18.6 kg/m², Misión® con 17.7 kg/m² y AH6205® 18.9 kg/m².

El rendimiento del cultivo estuvo influenciado por los siguientes factores. Uno de los factores importantes fue la humedad del suelo mal distribuida en todo el invernadero puesto que al ser diferentes texturas, mostraba una humedad completamente diferente para cada zona, al momento de realizar los riegos no se regaban ciertas secciones por encharcamiento o humedad excesiva provocado por no tener un drenaje adecuado dentro del invernadero y los riegos tan pesados que se le dio durante el manejo, la humedad mal controlada, aumento el pH y provocando un desajuste nutricional, todo lo anterior sumado temperaturas extremas que se registraron dentro del invernadero a un lado la humedad relativa alta, provoco que el cultivo fuera susceptible a plagas y enfermedades, en el Cuadro 15 se presentan:

Cuadro 15. Principales plagas y enfermedades que se presentaron en el invernadero de jitomate en Tetela de Ocampo, Puebla.

Plagas	Enfermedades
Mosquita blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)	Virus rugoso
Fungus gnat	Botritis (<i>botrytis cinerea</i>)
Trips (<i>Frankliniella accidentalis</i>)	Cenicilla (<i>Leveillula taurica</i>)
Pulgón (varios)	Fusarium (<i>Fusarium oxisporum</i>)
	Tizon temprano (<i>Phytophthora infestans</i>)
	Tizon tardío (<i>Alternaria solani</i>)
	Clavibacter (<i>Clavibacter michiganensis</i>)
	Nematodos (Varios)

Otro factor que podría haber influenciado sobre las diferencias de rendimiento entre los cultivares, fue la expresión del vigor híbrido, posiblemente el material genético de cada híbrido fue diferente.

VII. CONCLUSIÓN

El monitoreo continuo del estado hídrico del suelo, la nutrición del cultivo y las variables ambiental del invernadero, fue muy importante para controlar los parámetros de manejo del riego, la expresión fenotípica de los híbridos evaluados y los procesos fisiológicos, que afectan el rendimiento del cultivo y la calidad de los frutos de jitomate cosechados.

La expresión fenotípica de los híbridos está en función de los factores abióticos, puesto que estuvieron sometidas a las mismas condiciones hídricas, nutricionales y ambientales y solo una expreso mayor potencial de rendimiento y de resistencia a algunas plagas y enfermedades presentes en el invernadero, es importante tener en cuenta las condiciones en las que se encuentra un invernadero antes de establecer el cultivo puesto que ciertas plagas o enfermedades quedan persistentes por más tiempo dentro del suelo.

VIII. LITERATURA CITADA

- Adams P. 1994. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hidroponic systems. *Acta Hort.* 361: 245-257. Adams, P. and L.C. Ho. 1992. The susceptibility of modern tomato cutivars to blossom-end rot in relation to salinity. *J. Hort. Sci.* 67: 827-839.
- Alarcón A. L. 2000. Tecnologías para cultivos de alto rendimiento. 1ª Edición. Novedades Agrícolas S.A. España, 384 pp.
- Alarcón A. L., X. Justibró., L. M. González. 2006. Bases prácticas para optimizar la asimilación del calcio. *Fruticultura profesional*, ISSN 1131-5660, N° 161. (Ejemplar dedicado a: Lleida Fruit). 49-60.
- Allende M., L. Salinas y A. Torres. 2017. Manual de cultivo del tomate bajo invernadero. Instituto de investigaciones agropecuarias. Chile. En línea: <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/29478>. Consultado 09/05/2022
- Ayers R.S. y D. W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. FAO. Irrigation and Drainage Paper 29 Rev.1, Roma p: 174.
- Barrios J. M., B. Suárez W. Cruz, B. Barrios., G. Vázquez., A. Ibáñez y D. Moreno. 2015. Fertilización fosfatada en rendimiento y calidad de tomate en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(4): pp: 897-904.
- Beltrano J., O. Gimenez D. 2015. Cultivo en hidroponía, Universidad de la plata. Libro digital en PDF. p: 1-181. En línea: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?s](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?s.equ ence=1&isAllowed=y) equ ence=1&isAllowed=y consultado 29/06/2022.
- Bidwell. R.G.S. 1956. Fisiología vegetal. Primera edición en español. A. T. G. Editor S.A. México. D.F.
- Blancard D. 2000. Enfermedades del tomate. Observar, identificar, luchar. INRA. Ed. Mundi- prensa. p 212.
- Boyle J. S. 1994. Abnormal ripening of tomato fruit. *Plan disease.* 78: 936-944.
- Buitelaar K. y W. Eindhoven. 1986. TeeltenTeeltmaatregelen. En *Proefstation voor Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk* (Ed.) *Teelt van Stooktomaten*. No. 56: 38-55.
- Cadenas F. J., J. Gonzáles J., M. Hernández. 2003. El cultivo protegido del tomate. Técnicas de producción de cultivos protegidos. *Producciones agrotécnicas España*. Tomo II: 481-537.

- Calvert A. 1964. The effects of air temperature on growth of young tomato plants in natural light conditions. *J. Hort. Sci* 34: 154-162.
- Camacho F. 2007. Material didáctico del diplomado internacional de horticultura protegida. Universidad de Almería, España. Intagri. México.
- Cano D., J. Rojo. 2004. Correlación de medidas obtenidas a partir de sondas de succión y extracto de saturación del suelo regado con aguas salinas. *Ingeniería del agua*, 11 (3): 329-338.
- Casas A. 1999. Solución nutritiva, principios básicos, comportamiento e interacción. En: *Cultivos sin Suelos II*. 2ª Edición. Fernández, M.; Cuadrado I.M. FIAPA. Almería-España. 229-247 pp.
- Castellanos J. C. 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Primera edición. Ediciones Intagri. pp: 458.
- Castellanos J. Z. 2004. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. Ed. Intagri. p: 130-140.
- Castellanos J. Z., J. Uvalle y A. Aguilar. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. INCAPA. México. p: 201.
- Castro B. R. S., A. Galvis S., P. Sánchez J., A. Peña L., M. Sandoval V., G. Alcántara G. 2004. Demanda de nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot). *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 10: 147-152.
- Chapagain P.B. y Z. Wiesman. 2004. Effect of potassium magnesium chloride in the fertigation solution as partial source of potassium on growth, yield and quality of greenhouse tomato. *Scientia Hort.* 99: 279-288.
- Chávez-García M. 2013. Efecto de dos coberturas plásticas en la producción de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) bajo invernadero en el municipio de Coatepec Harinas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. Tenancingo, México. p: 64.
- Child A. 1990. A Synopsis of Solanum Subgenus Potatoe (G. Don) D'Arcy. *Feddes Repert* pp 209-235. En línea: <https://doi.org/10.1002/fedr.19901010502>. Consultado 02/08/2022.
- Cockshull K. E. 1989. The influence of energy conservation on crop productivity. *Acta Horticulturae* 245: pp: 530-536.

- Cuiris P. H. 2005. Rendimiento de tres variedades de jitomate In: IX Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas Memorias de Artículos, en resumen. Chihuahua Chihuahua, México.
- De Giglio M A. 2003. Growth of the fresh greenhouse tomato market in the USA. *Acta Hort* 611:91-92.
- De Wrachien D., B Mudlagiri G. 2015. Global warming effects on irrigation development and crop production: a World-Wide view. *Agric. Sci* 6: 734-747.
- Diez M. J. y Nuez F. 2008. Tomato. *Handbook of Plant Breeding, Vegetables II*, 249-326. Springer, New York. En línea: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74110-9>. Consultado el 09/05/2022.
- El Nagar M., E Mekawi. 2015. Evaluation of some biochemical properties in different tomato genotypes obtained from tissue culture technique. *Global J Research Analysis* 4(9): 189-193.
- Enciso J. M., D. Porter., X. Periés. 2000. Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego. *Texas A&M. Agrilive extension*. pp: 1-14.
- Escobar H., y Lee R. 2009. Manual de producción de tomate bajo invernadero. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. p: 40. En línea: https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/wysiwyg/pub_29_-_manual_produccion_de_tomate.pdf. Consultado 03/06/2022.
- Espinosa L. E. y O. Ramírez. 2016. Rentabilidad de chile manzano (*Capsicum pubescens* R Y P) producido en invernadero en Texcoco, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(2): 325-335.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2020. FAOSTAD, datos, cultivos. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. En línea: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. Consultado el 06 de mayo de 2022.
- Fernández O. N. 2014. Fotosíntesis. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Material para el bachillerato virtual. p: 8. En línea: https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Lectura/bachillerato/documentos/2014/LEC T1 10.pdf consultado el 24/05/2022.

- Fonseca A. E. 2006. Producción de tomate en invernadero. In: Cuarto Simposio Internacional de Producción de cultivos en Invernadero. UANL. Facultad de Agronomía. Monterrey, N. L. México. pp: 1-8.
- García A. 2012. Criterios modernos para la evaluación de la calidad del agua de riego. IAH 7, pp: 27-36.
- García S. D. 2013. Evaluación de Polinizadores (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) en Tomate de Invernadero. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. p: 44.
- Godoy H. H. 2002. Evaluación del equipo portátil HI 93706 de hanna instruments inc. Para monitorear los nutrimentos del suelo. Instituto tecnológico agropecuario. No 33.
- Godoy H. H. 2007. Influencia del injerto y nutrición en tomate sobre rendimiento, materia seca, extracción y diagnóstico de nutrimentos en planta y suelo en invernadero. Tesis de maestría en tesis de edafología. Colegio de postgraduados, Montecillo, Texcoco. pp 79.
- Gómez C.M.A., L Gómez T., R Schwentesius. 2003. Agricultura orgánica de México. In: Producción, Comercialización y Certificación de la Agricultura Orgánica en América Latina. CIESTAAM-AUNA. Edo. de México. pp: 91-108.
- Gómez D. 2000. “Estudio del crecimiento y desarrollo del fruto del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en función del clima”. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.
- González I. M. 2004. Evaluación de cinco variedades de jitomate (*Lycopersicum esculentum*) bajo invernadero. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo pp: 87.
- Guzmán J.M. 2006. Reutilización y recirculación: eficiencia y calidad de los sistemas cerrados. En: Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana. 1ª Edición. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá-Colombia. 479-499 pp.
- Guzmán K. A. D., Taylor M. R., Banfield J. F. 2006. Environmental risk of nanotechnology: national initiative funding, 2000-2004. *Environmental Sciences Technology* 40: 1401-1407.
- Hao X., P. Papadopoulos A. 2004. Effects of Electrical Conductivity and Mineral Nutrition on Fruit Radial Cracking. *Acta hortica*. 633. pp: 365-372. En línea: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.633.44> consultado el 19/08/2022.

- Hernández A., M. Morales., F. Morrel., Y. Borges., I. Moreno., H. Ríos., D. Vargas. 2007. Algunos resultados sobre las pérdidas de carbono en ecosistemas con suelos Ferralíticos Rojos lixiviados en Clima tropical subhúmedo de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 28 (3): 55-60.
- Hernández J., I Escobar., N Castilla. 2001. La radiación solar en invernaderos mediterráneos. *Revista Horticultura* 157: pp: 18-26.
- Ho L. C., R Belda., M Brown., J Andrews. 1995. Uptake and transport of calcium and the possible causes of blossom end rot in tomato. *J exp. Bot* 44: 509-518.
- Horiba (Horiba Instruments, Inc). 2008. Medidor de bolsillo LAQUATwin manual de instrucciones. California, United States p: 28. En línea: http://www-origin.horiba.com/fileadmin/uploads/Affiliates/hor/Photos/Application/Water_Quality/Multi-language_brochure_manual/Spanish/Manual_HORIBA_B-74x_es.pdf. Consultado el 27/07/2022.
- Huett D.O. y E. White. 1991. Determination of critical nitrogen concentrations of zucchini squash (*Cucurbita pepo* L.) cv. Blackjack grown in sand culture. *Australian J. Exp. Agric.* 31: 835-842.
- Huez-López M. A., A. Ulery. L., Z. Samani. G. Picchioni y R. Flynn P. 2011. Response of chili pepper (*Capsicum annum* L.) to salt stress and organic and inorganic nitrogen sources: III. Ion uptake and translocation. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14(3): 765-776.
- Ingram D. 2014. Understanding Irrigation Water Test Results and Their Implications on Nursery and Greenhouse Crop Management, University of Kentucky Cooperative Extension Service, Publication HO-111.
- INIA. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 2011. Manejo del riego para mitigar el impacto de la salinidad de cultivos. Informativo N°46. Centro de investigación especializado en la agricultura del desierto del altiplano (CIE). p. 6.
- IPCC. Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. 2014. Climate Change. Impacts, adaptation and vulnerability. IPCC Special Report, WGII. Ginebra, Suiza, p: 151.
- James F. y Will E., 1999, Irrigation Water Quality for Greenhouse Production, University of Tennessee Cooperative Extension, Publication PB 1:617.

- Jasso C. C., M. A. Martínez G., J. R. Chávez, V., A. J. Ramírez, T., y E. Garza U. 2012. Guía para cultivar jitomate en condiciones de malla sombra en San Luis Potosí. En línea: [http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/905.pdf/\(inSpanish\)](http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/905.pdf/(inSpanish)) Consultado el 29/07/2022.
- Jones J. B. 1999. Tomato plan culture. CRC Press. Florida. USA. pp 199.
- Kemp G. A. 1968. Low temperature growth responses of the tomato. Canadian journal of plant science 48: 281-286.
- Kinet J. M., M. Peet M. 1997. Tomato. The physiology of vegetables crops. Cab international. USA. pp: 207-258.
- Kristoffersen T. 1963. Interaction of photoperiod and temperature in growth and development of young tomato plants. *Physiol plant*. 16: 1-94.
- Lao M.T., S. Jiménez., E. Eymar., J. Fernández E. 2004. Nutrient levels of the soil solution obtained by means of suction cups in intensive tomato cultivation. *Revista Internacional de Botánica Experimental (Phyton)*, 73: 19-37.
- Loaiza C. W., A Reyes T., Y Carvajal E. 2011. Modelo para el monitoreo y seguimiento de indicadores de sostenibilidad del recurso hídrico en el sector agrícola. *Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía* pp: 77-89.
- López F.Y. 2000. Relaciones hídricas en el continuo agua-suelo-planta-atmosfera., División de Investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Palmira, Colombia Editorial p: 88.
- Lorenzo M. P. 2012. El cultivo en invernadero y su relación con el clima. *Cuaderno de estudios agroalimentarios*. pp: 23-44.
- Lorenzo P. 2006. Material didáctico del primer diplomado internacional de Horticultura protegida. Inatgri. México pp: 45.
- Lorenzo P., M. Sánchez C. 2004. Gestión del clima del invernadero. Manual de producción hortícola en invernadero. 2da edición. México. pp: 181-206.
- Maathius F. J. M. 2006. The role of monovalent cation transporters in plant responses to salinity. *Journal of Experimental Botany*. 57: 1137-1147. doi:10.1093/jxb/erj001.
- Marschner P. 2011. Mineral nutrition of Higher Plants. Third Edition ed. Germany: Academic Press. 672 p.

- Mera J. L. 2009. Evaluación de densidades de población de tomate en condiciones de invernadero. Tesis de licenciatura. Instituto tecnológico de Roque, Celaya, Gto.
- Moorby J. 1981. Transport systems in plants. Lonman and technical. New York, EUA. P 169
- Muñoz J. J., G. Medina. 2004. Condiciones agroclimáticas de México y la horticultura protegida. Manual de producción hortícola en invernadero. Intagri. pp: 40-60.
- Nielsen J.M. 1971. Diagnosis and control of nutritional disorders in cereals based on inorganic tissue analysis. pp. 63-73. In: M. Samish R. Recent advances in plant nutrition. Vol. 1. Gordon and Breach Science Publishers. New York, USA.
- Norma mexicana para diámetro de frutas. 1982. "NMX-FF-009-1982.Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - Fruta fresca - Determinación del tamaño en base al diámetro ecuatorial.". México. En línea: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normasmx/index.nmx> Consultado 22/07/2022.
- Norma mexicana para tomate. 1998. "NMX-FF-031-1997-SCFI. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano- Hortalizas frescas- Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill)- Especificaciones". México. En línea: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normasmx/index.nmx> consultado 22/07/2022.
- Peet M. M. 1992. Fruit cracking in tomato. HortTechnology 2: 216-223.
- Peet M. M., H. Willits D. y Gardner R. 1997. Response of ovule development and post-pollen production processes in male-sterile tomatoes to chronic, sub-acute high temperature stress''. Journal of Experimental Botany 48:101-111.
- Peralta I. E. y M Spooner D. 2005. Relationships and morphological characterization of wild tomatoes (*Solanum* L. Section *Lycopersicon* Mill.). Monogr.Syst. Bot.Missouri Bot.Garden, pp: 227-257.
- Pérez –Rodríguez G. 2017. Comportamiento fenológico y agronómico de la variedad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Sahael bajo condiciones en campo abierto y casa sombra. Tesis de licenciatura. Torreón Coahuila. pp: 1-95.
- Picken A. J., K. Stewart., D. Klapwijk. 1986. Germination and vegetative development. The tomato crop. A scientific basis for improvement. Chacman and hall. Londres.
- Prenger J. J., P Ling P. 2000. "Greenhouse Condensation Control." Fact Sheet (Series) EX-800. Ohio State University Extension, Columbus, OH. 1.4.

- Ricárdez M., M. Huitrón V., C. Gonzáles. V. Rodríguez M., F. Camacho. 2009. Tecnología mediterránea para Baja California. El empleo de materia orgánica y la arena. SEMARNAT. De riego 1665-3017:50-53.
- Rick C. M. 1978. The tomato. Scientific American. 239: 67-76.
- Rincón S. L. 1997. Características y manejo de sustratos inorgánicos en fertirrigación. I Congreso Ibérico y III Nacional de fertirrigación. Murcia, España.
- Russell C. R. y A Morris D. 1983. Patterns of assimilate distribution and source-sink relationships in the young reproductive tomato plant (*Lycopersicum Esculentum* Mill). Annals botany 52(3): 357-363.
- Samaniego C. E., M. Quezada M., I. De la Rosa M., L. Munguía J., M. Benavides A. y J. Ibarra L. 2002. Producción de tomate y pimiento con cubiertas de polietileno reflejante para disminuir la temperatura en invernadero. Agrociencia 3(6):305-318.
- Sánchez del C. F. 2002. Descripción general del proceso técnico de producción de jitomate basado en despuntes tempranos y altas densidades. Curso internacional de invernaderos. Departamento de ingeniería mecánica agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. pp: 1-17.
- Sánchez F. E., C. Moreno R., M. Coatzín., T. Colinas y A. Peña. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. Revista Chapingo Horticultura 16(3): 207-214.
- Sato S., M. Peet M. y F. Thomas J. 2002. Determining critical pre and post-anthesis periods and physiological processes in *Lycopersicon esculentum* Mill. exposed to moderately elevated temperatures. Journal of Experimental Botany pp: 1187-1195.
- Saure M. C. 2001. Blossom end rot of tomato (*Lycopersicum*) a calcium or a stress related disorder. Review. Scientia horticulture. 90: 193-208.
- Tang R., J. y S. Luan. 2017. Regulation of calcium and magnesium homeostasis in plants: from transporters to signaling network. Current opinion in Plant Biology. 39:97-105. doi 10.1016/j.pbi.2017.06.009.
- Taylor I. B. 1986. Biosystematics of the tomato. The Tomato Crop. A Scientific Basis for Improvement, Chapman and Hall, New York. pp: 1-34. En línea: <https://doi.org/10.1007/978-94-009-3137-4> consultado 23/06/2022.

- Tijerina Ch. L. 1992. Requerimiento y calendario de riego. In diplomado: Uso eficiente del agua en unidades de riego para el desarrollo rural. Colegio de postgraduados. Centro de hidrocencias. Montecillos. México.
- Triana M. P. 2001. La importancia de los elementos secundarios (Ca, Mg y S) en la nutrición de las plantas. En: Los elementos secundarios (Ca, Mg y S) en la agricultura. 1ra. Edición. Silva-Mojica, F. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá-Colombia, p. 1-13.
- U.S.S.L. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soil U.S. Salinity Laboratory USDA Agric. Handbook, N0 60, 160 p.
- Van der Ploeg A., M. Van der Meer. y E. Heuvelink. 2007. Breeding for a more energy efficient greenhouse tomato: past and future perspectives. *Euphytica*. 158(1-2):129-138
- Vargas-Canales J. M., M. Castillo-González A., J. Pineda-Pineda., J. Ramírez-Arias., y E. Avitia-García. 2014. Extracción nutrimental de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en mezclas de tezontle con aserrín nuevo y reciclado. *Revista Chapingo. Serie horticultura* 20(1): 71-88.
- Villalobos R. S., J. Castellanos Z., J. Ojodeagua L. 2004. Manejo de riego en invernadero. Manual de producción hortícola. 2ª Ed. Intagri. México. 80-102 pp.
- White P. J. y R. Broadley M. 2003. Calcium in plants. *Annals of botany*. 92(4): 487-511.



BUAP

"HUP, 50 años de enseñanza y salud"

Oficio No. FCAyP/661/2022

Andrea García Monroy
Egresada de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
PRESENTE

Con base en el dictamen emitido por el Dr. Juan Manuel Barrios Díaz (**Director de Tesis**), M.C. Benjamín Barrios Díaz (**Asesor**), M.C. Esteban Joaquín Medina (**Asesor**) y M.C. Fabiel Vázquez Cruz (**Asesor**) en su calidad de Consejo Particular, se autoriza la impresión de la tesis titulada:

"Cultivo de jitomate en invernadero con monitoreo continuo del estado hídrico, nutrimental y ambiental"

Correspondiente a la Licenciatura en Ingeniería Agrohidráulica.

Sin otro particular por el momento, me despido reiterando a Usted mi más atenta y distinguida consideración.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

San Juan Acateño, Teziutlán, Pue., a 28 de Noviembre de 2022

Dr. Armando Ibáñez Martínez

Director de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias



c.c.p. - Archivo y Minutario
Dr. AIM/mlsm